

# 硅橡胶表面润湿特性对积污行为影响的研究进展\*

王国刚, 赵悦菊, 张金玲, 夏 兵, 王建辉

(国网电力科学研究院 北京国电富通科技发展有限公司, 北京 100070)

**摘 要:** 介绍了电力系统中污闪事故的现状及相应的预防措施, 阐述了硅橡胶表面润湿特性及相关模型与硅橡胶表面积污行为的相互作用关系, 指出了硅橡胶的润湿性与表面积污行为了的复杂关系。由于硅橡胶表面的憎水性及憎水迁移性, 使其具有优异的防污闪性能; 而又由于憎水迁移性的存在导致硅橡胶表面的污秽具备“反清洁”能力。文中讲述了国内外学者在自然环境、工频电场及紫外辐照条件下硅橡胶表面润湿特性对积污行为影响的研究进展, 并指出了目前这方面研究尚存的问题, 展望了硅橡胶表面润湿特性与积污行为的研究方向。

**关键词:** 润湿; 污秽闪络; 硅橡胶; 复合绝缘子

**中图分类号:** TQ333.93; O485 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9289(2012)02-0015-06

## Progress in Effect of Wetting Property of the Silicone Rubber on Pollution Accumulation

WANG Guo-gang, ZHAO Yue-ju, ZHANG Jin-ling, XIA Bing, WANG Jian-hui

(Beijing Duodian Futong Science and Technology Development CO., LTD, State Grid Electric Power Research Institute, Beijing 100070)

**Abstract:** The problem and the preventive measures of the pollution flashover in power system were introduced. The complicated relationship between the wetting property, the relevant model and the pollution accumulation of room temperature vulcanized silicone rubber was also presented. On one hand, the excellent anti-pollution flashover property is attributed to the hydrophobic property and transfer hydrophobic property. On the other hand, the anti-self cleaning is obtained due to the transfer hydrophobic property. Research progress about the effect of wetting property on the pollution accumulation of silicone rubber in different stations was emphasized, such as natural environment, frequency electric field and ultraviolet ray. Moreover, the problem awaiting solution in this area was point out. Finally, the research progress for resolving pollution flashover was put forward completely.

**Key words:** wetting property; pollution flashover; silicone rubber; composite insulator

## 0 引 言

有机硅橡胶材料在电力系统主要应用是防污闪涂料及有机硅橡胶复合绝缘子的伞裙护套。防污闪涂料的主要成分是室温硫化硅橡胶(Room Temperature Vulcanized Silicone Rubber, RTV), 有机硅橡胶复合绝缘子(Silicone Rubber Composite Insulator, 简称为复合绝缘

子)的主要成分是高温硫化硅橡胶<sup>[1]</sup>。由于两种材料均是以聚硅氧烷为主体, 仅在交联固化方式上存在差异, 性能上均表现出优良的电绝缘性、耐候性, 特别是表现出较强的抗污闪性能, 因此广泛应用于电力系统中<sup>[2]</sup>。

污闪是指绝缘子在长期运行中, 大气中的尘埃微粒沉积到其表面形成污秽层, 在雾、露、小

收稿日期: 2011-10-24; 修回日期: 2012-03-27; 基金项目: \* 国家自然科学基金(51007083)

作者简介: 王国刚(1975—), 男(汉), 河北栾城人, 高级工程师, 博士; 研究方向: 电力功能材料开发及应用

网络出版日期: 2012-03-27 22:08; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20120327.2208.001.html>

引文格式: 王国刚, 赵悦菊, 张金玲, 等. 硅橡胶表面润湿特性对积污行为影响的研究进展 [J]. 中国表面工程, 2012, 25(2): 15-20.

雨、雪等气象条件下,使表面电导率增加,绝缘性能下降,在高压电场作用下引起绝缘子沿面闪络放电。宏观上可将污闪放电过程分为4个阶段,如图1所示:绝缘子表面积污、污秽层湿润、形成干带、局部放电的产生和发展并导致沿面闪络<sup>[3]</sup>。污闪会引起电网的大面积断电,给人民生活及国家经济造成很大的损害。在2011年初春,疆南电网发生的一起污闪事故,造成8个110 kV变电站和一个220 kV变电站的110kV母线失压停电;总切除负荷155 MW,造成疆南地区大面积停电,疆南地区电网和新疆大网解裂。给当地居民生活造成了很大的不便,也造成了巨大的经济损失。

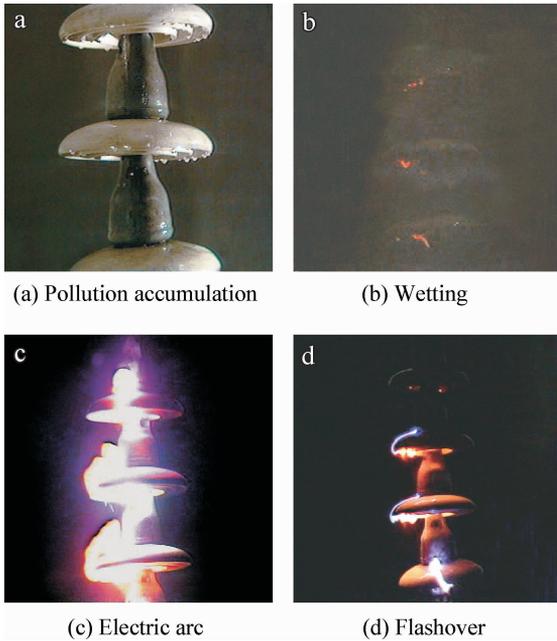


图1 绝缘子污闪过程<sup>[3]</sup>

Fig. 1 Progress of the pollution flashover of the insulator<sup>[3]</sup>

防止大面积污闪的根本出路是提高电网的基本外绝缘水平。运行经验表明<sup>[4]</sup>,复合绝缘子和防污闪涂料的使用可有效地抑制大面积污闪事故的发生,提高电网的外绝缘水平,越来越多的复合绝缘子被应用于我国电力系统。但运行经验同时表明<sup>[1]</sup>:实际运行的复合绝缘子的污层表面状态始终处于动态变化过程中。连续的污秽沉积会在复合绝缘子表面上形成新的亲水性表面,而硅橡胶体内憎水性物质的外迁又会不断地降低污层的表面张力。即污染的硅橡胶材料的憎水迁移速度和能力既与硅橡胶材料自身的物理化学性质又与污秽的物理化学性质密切相

关,也会受到各种大气环境因素的显著影响<sup>[5]</sup>。

## 1 硅橡胶润湿特性与表面积污行为

### 1.1 润湿特性

固体表面常见的静态润湿理论模型是Young氏模型,其方程式为(1):

$$\cos H = \frac{C_{sv} - C_{sl}}{C_{lv}} \quad (1)$$

式中  $C_{sv}$ 、 $C_{sl}$ 、 $C_{lv}$  分别为单位面积固/气界面、固/液界面、液/气界面的界面自由能;  $H$  为气、固、液三相平衡时的接触角。当  $H > 90^\circ$  和  $H < 90^\circ$  时分别表现为疏水性和亲水性;而  $H > 150^\circ$  和  $H < 5^\circ$  时分别表现为超疏水和超亲水性。

粗糙表面的Wenzel模型<sup>[6]</sup>和Cassie模型<sup>[7]</sup>,方程式分别为(2)与(3):

$$\cos \theta = \frac{r(C_{sv} - C_{sl})}{C_{lv}} = r \cos H \quad (2)$$

$$\cos \theta = f_1 \cos H_1 + f_2 \cos H_2 \quad (3)$$

式中,  $r$  为固体表面粗糙度因子,即粗糙表面实际表面积与表观表面积之比,  $\theta$  为粗糙表面的实际接触角,  $H$  为Young模型中的本征接触角。由于  $r > 1$ ,故对于亲水表面  $H < 90^\circ$ ,则  $\theta < H$ ,即亲水表面在增加粗糙度后更加亲水;对于疏水表面  $H > 90^\circ$ ,则  $\theta > H$ ,即疏水表面在增加粗糙度后更加疏水。

式中,  $f_1$  和  $f_2$  分别表示物质1和2与液体接触所占的面积分数( $f_1 + f_2 = 1$ );  $H_1$  和  $H_2$  分别表示物质1和2的本征接触角。

上述的模型及大量的研究和试验证明<sup>[5]</sup>材料表面润湿能力的大小通常取决于材料的表面形貌(或表面粗糙度)和材料的表面化学性质。因此,研究超疏水性表面通常采用两种途径:一种是在疏水性材料的表面构筑出合适的粗糙度;另一种是在具有合适粗糙程度的材料表面用低表面能(如氟化物)的化学物质进行化学修饰。

与传统的瓷和玻璃绝缘子相比,复合绝缘子与防污闪涂料在防污闪性能方面优势显著。其优越的防污闪特性主要归因于外绝缘材料硅橡胶良好的憎水性和憎水迁移性。憎水性是指硅橡胶材料表面自由能较低,受潮后其表面不能形成连续水膜,所吸附的水分以不连续的孤立小水

珠的形式存在。RTV 防污闪涂料的基料是一种特殊的聚硅氧烷高分子化合物, 分子链为 Si-O-Si 结构, 取代基或侧链为 C-H 结构(见图 2)。聚硅氧烷分子中的甲基(有机基)与主链相连, 在 Si 原子外形成一个倒立正四面体的伞状空间构型。由于 H 原子是范德华原子半径最小的原子, 它们所形成的伞状甲基结构, 紧密地排列在一起, 形成一道封闭屏障, 把水分子屏蔽在外, 表现出优良的憎水性能。憎水迁移性是指硅橡胶表面脏污后, 其体内的憎水性物质会扩散到污秽层表面, 从而使后者被动获得憎水性能。硅橡胶材料的憎水性及憎水迁移性, 尤其是后者赋予了防污闪涂料优良的耐污闪性能<sup>[8]</sup>。

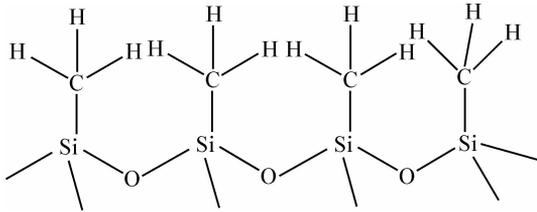


图 2 RTV 硅橡胶链结构

Fig. 2 Structure of the RTV silicone rubber

## 1.2 积污行为

硅橡胶表面的积污行为是引起绝缘子污闪放电的重要因素。而其积污行为较为特殊, 对于轻度积污来说, 硅橡胶表面的接触角可由原来的  $90^\circ$  左右增加大到  $120^\circ \sim 140^\circ$ , 近乎达到了超疏水状态<sup>[5-6]</sup>。原因是污秽的存在使硅橡胶表面呈现微米级粗糙结构, 并且由于硅橡胶材料自身的憎水迁移性使得污秽成分被低表面能的硅橡胶小分子所包覆后, 其表面自由能大幅度降低, 因此引起表面接触角的增加。当积污严重甚至出现板结时, 硅橡胶表面的润湿性会降低, 而污秽物质的结构越致密或者盐/灰比值越大, 其憎水性迁移速度和能力越低<sup>[9-10]</sup>, 某些状况下以至于憎水性难以恢复。

## 2 硅橡胶润湿特性与积污行为研究进展

上述讨论可知, 硅橡胶特殊的润湿性与表面积污的相互影响十分复杂。污秽润湿性的逆变, 在特殊大气气候条件下(特别是降水或潮湿), 将强烈影响自然环境因素的既有积污行为, 使其变得更为复杂。本来接触角的大小主要与固体表面自由能和表面几何结构两个因素有关, 然而粗

糙表面接触角滞后现象的存在, 使得接触角与润湿的关系变得复杂, 其物理机制及它和表面润湿性的关系至今仍未澄清<sup>[11]</sup>。而硅橡胶表面积污是一个典型动态过程, 污秽粒子的化学组成复杂性、粒度的分布性、微观结构(致密、多孔、微纳米结构)方面的差异, 更使得水介质在其表面呈现出不同的润湿、吸附、滑动及滚动行为, 最终使得这个界面的浸润关系变得极其复杂。

近年来, 针对硅橡胶润湿特性与表面积污行为的研究也逐渐开展起来, 主要研究方向集中在下列几个方面。

### 2.1 自然条件下硅橡胶润湿特性对表面积污行为的影响

研究表面特殊润湿行为方面的先驱是 Barthlott, 他最早报道了植物叶面具有超疏水的“自清洁”能力, 其中以荷叶最为极致<sup>[12]</sup>。冯琳等<sup>[13]</sup>指出荷叶表面存在微纳米结构的乳突及表皮生物蜡是引起荷叶表面“自清洁”的原因, 由于表面的凸起微观分级结构, 污秽粒子与表面的实际接触面积非常小, 物理粘附力大大降低<sup>[14]</sup>, 水滴经过时, 污秽粒子即可被带走, 主要原因除了粒子与固体表面仅存在微弱的范德华力外<sup>[15]</sup>, 粒子还与液滴之间发生了较强的毛细力作用<sup>[16]</sup>, 这样水滴在超疏水表面滚动就产生了“自清洁”作用<sup>[17]</sup>。

Lafuma 等<sup>[18]</sup>研究发现 Wenzel 与 Cassie 两状态可以在疏水表面共存, 而前者的接触角滞后是后者的 10~20 倍, 这在实际应用中非常重要, 即水滴在 Wenzel 状态的表面的附着力较 Cassie 状态更强, 甚至水珠只会以滑动的方式移动, 并不会夹带灰尘离开, 失去“自清洁”的能力<sup>[19]</sup>。另外, 近来研究发现处于 Wenzel 状态的表面摩擦力远大于其在普通平面状态, 而 Cassie 状态可以大幅度降低摩擦性能<sup>[20]</sup>。Hyväluoma 等<sup>[21]</sup>对异质超疏水表面的接触角滞后进行模拟, 发现接触角滞后程度随方向改变而变化, 如果接触角滞后很大, 此时需要很大的外力或倾角才会使液珠运动并滑落, 否则只能通过蒸发的方式离开表面<sup>[22]</sup>。Kulinich 等<sup>[23]</sup>观察到接触角大于  $90^\circ$  时, 滞后角越大液滴的蒸发速度越快, 这与接触线局部的饱和蒸汽压有密切相关。

另外, 由于硅橡胶表面憎水迁移性的存在, 使得污秽表面接触角可达到  $120^\circ \sim 140^\circ$ , 此时, 当水滴从较高处坠落到污秽表面, 较容易从弯曲

的硅橡胶绝缘子表面滑落,只能带走少量的未板结污秽粒子,而同样的陶瓷绝缘子,水滴则可以带走大量污秽粒子,故憎水迁移性导致污秽具备“反清洁”能力,这可能是污秽较难降低的一个重要原因。

Zhao等<sup>[24]</sup>通过在线监测发现,硅橡胶表面的憎水性随着季节发生变化,温度较高的季节憎水性较好,寒冷的季节憎水性较差。更重要的是某些污秽成分对硅橡胶表面具有劣化作用,同时也会降低其憎水性。高湿环境中硅橡胶材料的憎水性迁移速度将受到抑制<sup>[25]</sup>;即使是已经获得充分憎水性迁移的污秽层的表面,憎水性能也会由于外界应力的作用而处于不断的上升和下降的动态变化中。潮湿和污秽共存条件下的表面放电对硅氧烷分子的氧化对憎水性下降的影响则更为显著<sup>[7]</sup>。当这些外界作用因素消失后,复合绝缘子污层表面的憎水性还可能获得恢复。

Gautam<sup>[26]</sup>研究发现与陶瓷、玻璃绝缘子一样,直流复合绝缘子的污闪电压随着污秽度的增加而降低,其单位高度的污闪电压与盐密的关系可近似表示为幂函数<sup>[27]</sup>。王进华等<sup>[28]</sup>研究发现复合绝缘子在酸雾、盐雾中的闪络机理与无机绝缘子相同,闪络电压随污秽程度的增大而降低。Zhao等<sup>[29]</sup>发现表面含有污秽的绝缘子的憎水性随着湿度的增加而降低,在其闪络之前泄露电流没有发生明显变化,并且长期处于潮湿环境下,复合绝缘子在污秽作用下仍然会发生闪络。

李震宇等<sup>[30]</sup>通过实测,发现并不是所有降水都会对复合绝缘子表面污秽产生明显的清洗效果。雨强度不大时,降水对绝缘子表面污秽的清洗作用有限。

## 2.2 工频电场情况下对硅橡胶润湿特性及表面积污行为的影响

除了自然条件下,硅橡胶特殊的润湿性对表面积污有影响外,在电场存在时,这种影响关系更为特殊。Wu等<sup>[31]</sup>研究静电场对超疏水表面上的液滴滚动性的影响,发现其对液滴的接触角、滚动角及运动方向均有明显影响。

王秋莎<sup>[32]</sup>等研究了电晕对室温硫化硅橡胶憎水性的影响。试验结果表明电晕放电不同时间后硅橡胶表面的憎水性丧失是一个渐进的过程,然而短时电晕后,暂时丧失的憎水性在长时间后可基本恢复到初始值;当仅有电场作用而无

电晕放电时,硅橡胶表面的憎水性基本无变化。

梁曦东研究组<sup>[33]</sup>报道了国外直流运行下合成绝缘子的积污量是瓷的1.5~2倍,合成绝缘子上伞面比下表面积污要多,直流电压下合成绝缘子的污秽密度是交流的1~3倍。李经儒等<sup>[34]</sup>也注意到复合绝缘子表面积污更严重,对绝缘子直流污闪电压的影响较为严重。

## 2.3 紫外辐照条件对硅橡胶润湿特性的影响

紫外线辐照对硅橡胶润湿特性也有特殊影响。同样是梁曦东研究组<sup>[35]</sup>,他们在模拟太阳光的基础上,研究了紫外辐照对复合绝缘子老化速度的影响,也研究了紫外辐照对复合绝缘子憎水性的影响。发现无论是小于24h的辐照实验,还是长于2000h的辐照实验,硅橡胶的憎水性和憎水迁移性都变得更强。这说明紫外辐照有利于憎水性和憎水迁移性。

## 3 结论

上述研究表明虽然硅橡胶的憎水性及憎水迁移性,在短时期内能够抑制污闪。但是硅橡胶表面污秽集聚整体呈现加重趋势,加上污秽憎水性波动较大,在一定条件下,仍会引发闪络,给电网带来安全隐患。由于其加速积污的内在机理没有弄清楚,在实际中更多采用人工清除的方法,耗时耗力。随着电网建设的快速发展,电压等级的不断增高,线路不断加长,复合绝缘子的大量使用,污秽问题将显得尤为突出。

在硅橡胶润湿特性与表面积污行为相互影响的研究方面,目前还没有一个完整的积污模型,但在相关领域已经进行了一些理论工作积累,如贺博等<sup>[36]</sup>提出一种沙尘颗粒在硅橡胶绝缘材料表面的沉降模型,但是该模型只考虑了自然环境因素及硅橡胶表面弹性摩擦因数的影响,而忽视了其表面润湿特性。憎水迁移性方面,硅橡胶憎水性迁移的小分子(LMW)理论已得到国内外学者的普遍认同<sup>[37-38]</sup>。关志成等<sup>[39-40]</sup>的研究还表明LMW具有类似于气体分子的特性,不仅可以从硅橡胶体内向污层体内迁移,还可以在污层表面迁移,甚至可以发生空间非接触迁移。据此,贾志东博士等人基于固体对气体的吸附与凝聚理论对憎水性迁移的动力学原理进行了分析<sup>[41]</sup>。在表面润湿理论方面,杨氏方程、Wenzel方程及Cassie-Baxter方程最早揭示了润湿理论

模型<sup>[6-7]</sup>。上述理论及模型尽管只反映了积污过程的某个方面,但都是影响并贯穿积污的整个过程,因此进一步开展积污预测模型的研究,提出机理更加清楚,内涵更为全面的多因素、多维、非稳态积污预测模型,不仅有重大理论意义也具有实际价值,其硅橡胶表面积污行为机理及预测模型的建立,可为电力系统的污秽防治工作提供理论基础和实践指导。

## 参考文献

[1] 冯圣玉,张洁,李美江,有机硅高分子及其应用[M].北京:化学工业出版社.

[2] 陈原,刘燕生,蔡炜,等,国家电网公司跨区电网输变电设备外绝缘用防污闪涂料使用指导原则(试行).国家电网公司建运[2006]1022号文件.

[3] Wang S W, Liang X D, Huang L C. Laboratory study on "hydrophobicity and pollution flashover properties of polymer insulators" [C], Electrical Engineering Dept, Tsinghua University, Beijing, 1999.

[4] 刘泽洪. 复合绝缘子使用现状及其在特高压输电线路中的应用前景[J]. 电网技术, 2006, 30(12): 1-7.

[5] 赵林杰. 硅橡胶复合绝缘子憎水性与污闪特性研究[D]. 华北电力大学, 2008.

[6] Wenzel R N. Resistance of solid surfaces to wetting by water [J]. Industrial and Engineering Chemistry, 1936, 28(8): 988-994.

[7] Cassie A B D, Baxter S. Wettability of porous surfaces [J]. Transactions of the Faraday Society, 1944. 40: 546-551.

[8] 李拓,杨金鑫,文秀芳,等. 硅橡胶超疏水涂料的制备及其防污闪络性能[J]. 有机硅材料, 2008. 22(5), 290-295.

[9] Roach P, Shirtcliffe N, Newton M. Progress in superhydrophobic surface development [J]. Soft Matter, 2008. 4(2): 224-240.

[10] 姚继莎. 自然环境中复合绝缘子憎水性变化特性及机理的研究[D]. 华北电力大学(北京)硕士论文, 2006.

[11] 江雷,冯琳. 仿生智能纳米界面材料[M]. 北京:化学工业出版社.

[12] Barthlott W, Neinhuis C. Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces [J]. Planta, 1997, 202(1): 1-8.

[13] Feng L, Li S, Li Y, et al. Super-hydrophobic surfaces: from natural to artificial [J]. Advanced Materials, 2002, 14(24): 1857-1860.

[14] Scherge M, Gorb S. Biological micro- and nanotribology: nature's solutions [M]. Springer Verlag, 2001.

[15] Chow T. Nanoscale surface roughness and particle adhesion on structured substrates [J]. Nanotechnology, 2007, 18: 115713.

[16] Reyssat M, Yeomans J, Quere D. Impalement of fakir

drops [J]. Europhysics Letters, 2008. 81: 26006.

[17] Koch K, Bhushan B, Barthlott W. Diversity of structure, morphology and wetting of plant surfaces [J]. Soft Matter, 2008. 4(10): 1943-1963.

[18] Lafuma D Q. Superhydrophobic states [J]. Nature Materials, 2003. 2(7): 457-460.

[19] Nosonovsky M, Bhushan B. Energy transitions in superhydrophobicity: low adhesion, easy flow and bouncing [J]. Journal of Physics, Condensed Matter, 2008, 20(39): 395005.

[20] Cottin-Bizonne C, Barrat J, Bocquet L, et al. Low-friction flows of liquid at nanopatterned interfaces [J]. Nature Materials, 2003, 2(4): 237-240.

[21] Hyvälouma J, Koponen A, Raiskinmäki P, et al. Droplets on inclined rough surfaces [J]. The European Physical Journal E: Soft Matter and Biological Physics, 2007, 23(3): 289-293.

[22] 郑黎俊, 乌学东, 楼增, 等. 表面微细结构制备超疏水表面[J]. 科学通报, 2004, 17: 1691-1699.

[23] Kulinich S, Farzaneh M. Effect of contact angle hysteresis on water droplet evaporation from super-hydrophobic surfaces [J]. Applied Surface Science, 2009. 255(7): 4056-4060.

[24] Zhao L J, Li C R, Xiong J, et al. Online hydrophobicity measurement for silicone rubber insulators on transmission lines [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2009, 24(2): 806-813.

[25] 高海峰. 硅橡胶憎水迁移机理及其表面染污放电的研究[D]. 清华大学博士论文, 2007.

[26] Gautam B K, Mizuno Y, Matsubayashi G, et al. Effect of wetting conditions on the contamination flashover voltages of polymer insulators, properties and applications of dielectric materials [C]. 8 International Conference, 2006: 538-541.

[27] 于永清. 丧失憎水性的直流复合绝缘子耐污特性[J]. 电网技术, 2006, 30(12): 12-15.

[28] 王进华. 合成绝缘子在污湿环境下交流闪络特性及机理的研究[D]. 重庆大学硕士论文, 2002.

[29] Zhao L J, Li C R, Xiong J, et al. An artificial pollution test on silicone rubber insulators under long-time wetted conditions [C]. Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena CEIDP, 2007, 320-323.

[30] 李震宇, 梁曦东, 王彬, 等. 直流电压下复合绝缘子的自然积污试验[J]. 电网技术, 2007, 31(14): 10-14.

[31] Wu Y, Saito, Nae F A, et al. Water droplets interaction with super-hydrophobic surfaces [J]. Surface Science, 2006, 600(18): 3710-3714.

[32] 王秋莎, 律方成, 刘云鹏, 等. 电晕对室温硫化硅橡胶憎水性的影响研究[J]. 华北电力大学学报, 2010, 34(4): 14-17.

[33] 汤存燕, 梁曦东. 国外直流合成绝缘子运行及自然污秽试验[J]. 电网技术, 1999. 23(9): 50-53.

[34] 李经儒, 彭功茂. 探讨高海拔地区复合绝缘子直流污闪特性的影响因素 [J]. 广西电力, 2009, 6: 33-35.

[35] Wang X, Liang X, Zhou Y. Aging effect of UV radiation on SIR insulators' hydrophobicity property [C]. 2004 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena CEIDP, 2004, 241-244.

[36] 贺博, 陈邦发, 高乃奎, 等. 沙尘微粒在硅橡胶绝缘材料表面的沉降模型 [J]. 西安交通大学学报, 2009(12): 86-90.

[37] Vlastos A E, G S M. Surface structural changes of naturally aged silicone and EPDM composite insulators [C]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1991, 6(2): 888-900.

[38] Gorus R, C E, Hackam R. The AC and DC performance of polymeric insulating materials underaccelerated aging in a fog chamber [J]. IEEE Transactions on Power Delivery,

1988, 3(4): 1892-1902.

[39] 关志成, 陈原. 合成绝缘子憎水性迁移机理的研究 [C]. 高电压技术, 1998, 24(2): 13-15.

[40] 陈原. 超高压直流合成绝缘子的研究 [D]. 清华大学博士学位论文, 北京, 1997.

[41] Jia Z, Guan Z, Wang L, et al. Study on hydrophobicity transfer of RTV coatings based on a modification of absorption and cohesion theory [C]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2006, 13(6): 1317-1324.

---

作者地址: 北京市丰台区南四环西路 188 号 100070  
 总部基地 6 区 14 号  
 Tel: (010)5838 6436  
 E-mail: wanggg@epri.sgcc.com.cn



• 本刊讯 •

**本刊理事长范多旺教授荣获甘肃省科技功臣奖**

从近日召开的甘肃省科技奖励大会上获悉,《中国表面工程》科技期刊理事会理事长——范多旺教授荣获 2011 年度甘肃省科技功臣奖。该奖是甘肃省从 2000 年开始颁发的个人最高科技奖,每两年评 1 次,每次评 1~2 人。

30 多年来,范多旺教授一直致力于绿色镀膜等领域的研究,作为我国绿色镀膜技术的开拓者,他首先提出并实践了“绿色镀膜”、“绿色镀膜新材料”等新技术理念与体系,把真空镀膜技术引入到绿色制造范畴,促进了电镀行业的技术升级。他主持研制的汽车灯具镀膜成套设备、汽车轮毂绿色镀膜成套装备、宽幅铜(铝)带材连续真空镀太阳吸收膜成套装备、悬浮式双镀膜冷却辊连续卷绕镀膜系列装备等不仅在技术上达到国际先进水平,填补了国内行业空白,还成功实现了我国自主创新技术成果的产业化,引领了表面工程、新材料等领域若干行业的技术进步。他主持研制了 12 个系列的表面处理成套装备,其中 9 套装备是国内首创或国内最大、最先进的装备。申请专利 40 件,已获授权专利 31 件,其中发明专利 17 件。先后获得 1 项国家科技进步二等奖、4 项省部级科技进步一等奖、6 项省部级科技进步二等奖、1 项信息产业部十五期间优秀项目奖和 1 项甘肃省十五期间十大科技成果奖。范多旺教授领导建设的“国家绿色镀膜技术与装备工程技术研究中心”以优异成绩通过了科技部验收,成为我国表面工程领域唯一的国家级创新平台。他带领的科研创新创业团队坚持科学研究与技术创新相结合,承担了多个国家和地方重大科技攻关项目,在绿色镀膜、铁道信号自动化等领域做出了重大贡献,获得“信息产业科技创新先进集体”、“全国专业技术人才先进集体”等多项荣誉。

范多旺教授兼任《中国表面工程》期刊理事会理事长,对期刊的发展给予了多方面的指导与支持。衷心祝愿范教授和他带领的创新团队为促进我国表面工程学科的发展,为高端装备制造、节能环保、新材料和新能源等战略性新兴产业的发展再创佳绩。

(《中国表面工程》编辑部 供稿)