

原材料·配方

硅烷偶联剂KH570改性高岭土/丙烯酸酯复合压敏胶的制备和性能分析

楚金伟¹, 万小东², 韦晓星¹, 南敬²

(1. 中国南方电网有限责任公司超高压输电公司检修试验中心, 广东 广州 510663; 2. 中国电力科学研究院有限公司电网环境保护国家重点实验室, 湖北 武汉 430074)

摘要: 研究采用硅烷偶联剂KH570改性羟基化的高岭土(kaolin-OH), 得到表面烯丙基官能化的高岭土(kaolin-KH570), 其与丙烯酸酯类单体原位聚合制备可用于清除绝缘子表面污秽的kaolin-KH570/丙烯酸酯复合压敏胶(kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA)。结果表明: 当kaolin-KH570质量分数为1.5%时, kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA的粘接性能最佳, 与未添加kaolin的丙烯酸酯PSA相比, 其初粘力、180°剥离强度和23℃持粘力分别提高35.7%、30.7%和128.6%; 采用kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA膜片对绝缘子表面清污, 绝缘子表面的洗净率和除盐率可达到85.8%和80.6%, 而憎水性从HC6级恢复至HC1级, 且绝缘性能提高, 提升了复合绝缘设备在污秽条件下运行的可靠性。

关键词: 丙烯酸酯; 压敏胶; 改性高岭土; 硅烷偶联剂KH570; 绝缘子; 污秽清除; 粘接性能

中图分类号: TQ316.6⁺1; TQ433

文献标志码: A

文章编号: 1000-890X(2022)09-0674-08

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2022.09.0674



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

绝缘子由于其优良的防污闪性能而在电力系统中得到了大量的应用, 但直流换流站用复合支柱/套管长期运行后积污严重, 给电网的安全运行带来了严重的威胁^[1-3]。虽然已有绝缘子表面污秽清除的相关技术报道^[4], 但污秽清除效果并不理想。

清除绝缘子表面的污秽可避免对人类的生产、生活以及环境产生危害, 其也是科技工作者研究的重要课题之一^[5]。可剥离材料作为一种高效环保的表面除污材料之一, 已广泛应用于电子和建筑领域、核工业、微量金属颗粒提取等中^[6-7]。压敏胶(PSA)是一类对压力极其敏感, 仅需轻微的压力就可以与被粘物产生很好粘合的胶粘剂^[8]。通过对PSA分子适当改性或进一步交联, 有望研制出具有适当的粘接力且在剥离时残胶量小的可高效

清除绝缘子表面污秽的PSA。

近年来利用外加交联剂^[9]和添加无机粒子^[10]改性丙烯酸酯PSA已有很多报道, 例如柳彬彬等^[11]以环氧系列交联剂(E-C5)和苯二亚甲基二异氰酸酯交联剂(XDI)为复合交联剂, 制备了一种柔性电路板保护膜用耐高温耐酸碱型PSA胶带, 但PSA胶带的剥离强度较低。B. L. PANG等^[12]采用硅烷偶联剂KH570改性的二氧化硅(SiO₂)粒子改性丙烯酸酯PSA, 但改性后的聚丙烯酸酯分子链的移动性变差, PSA的剥离强度和初粘力显著下降, 这可能是由于无机SiO₂粒子与聚丙烯酸酯分子之间相容性差, 粘合力弱, 难以满足绝缘子除污的要求。殷俊等^[13]采用改性滑石粉仅制备了改性滑石粉/丙烯酸酯PSA, 但未进行绝缘子表面除污方面的研究。

基金项目: 中国南方电网有限责任公司科技项目(0120002019030304GY00008)

作者简介: 楚金伟(1982—), 男, 河北衡水人, 中国南方电网有限责任公司超高压输电公司高级工程师, 硕士, 主要从事超特高压直流输电设备技术及运维体系研究。

E-mail: cjw03@163.com

引用本文: 楚金伟, 万小东, 韦晓星, 等. 硅烷偶联剂KH570改性高岭土/丙烯酸酯复合压敏胶的制备和性能分析[J]. 橡胶工业, 2022, 69(9): 674-681.

Citation: CHU Jinwei, WAN Xiaodong, WEI Xiaoxing, et al. Preparation and performance analysis of silane couple agent KH570 modified kaolin/acrylate composite pressure sensitive adhesive[J]. China Rubber Industry, 2022, 69(9): 674-681.

本工作采用硅烷偶联剂KH570(以下简称KH570)表面改性羟基化的高岭土(kaolin-OH),得到表面烯丙基官能化的高岭土(kaolin-KH570),然后其与丙烯酸酯类单体原位聚合,制备可用于清除绝缘子表面污秽的kaolin-KH570/丙烯酸酯复合PSA,以期研制一种快速清除绝缘子表面污秽并恢复其绝缘性能的新型材料,这对保障特高压电网安全运行具有重要意义。

1 实验

1.1 主要原材料

高岭土(kaolin),工业级(粒径为 $2.6\ \mu\text{m}$),深圳市海扬粉体科技有限公司产品;KH570,分析纯,上海晶纯试剂有限公司产品;氢氧化钠、丙烯酸丁酯(BA)、丙烯酸异辛酯(2-EHA)、过氧化二苯甲酰(BPO)、乙酸乙烯酯(VAc)和无水乙醇,分析纯,国药集团化学试剂(北京)有限公司产品;丙烯酰胺(AM)和丙烯酸(AA),分析纯,阿拉丁试剂(上海)有限公司产品。

1.2 主要仪器与设备

NDJ-1型旋转式粘度计,上海舜宇恒平科学仪器有限公司产品;Nicolet傅里叶变换红外光谱(FTIR)仪,赛默飞世尔科技公司产品;Biolin光学接触角测量仪,大昌华嘉化学国际贸易(上海)有限公司提供;STA449F3型综合热重分析(TG)仪,德国耐驰仪器制造有限公司产品;RGM-30A型微机控制电子万能试验机,深圳市瑞格尔仪器有限公司产品;YT3-001型初粘性测试仪,东莞市优图仪器设备有限公司产品;CZY-6S型持粘性测试仪,济南兰光机电技术有限公司产品。

1.3 试样制备

1.3.1 KH570表面改性kaolin

先将质量分数为0.3的氢氧化钠溶液加入到250 mL三口烧瓶中,再将10 g kaolin加至三口烧瓶中,在 $90\ ^\circ\text{C}$ 下剧烈搅拌6 h,反应结束冷却,将改性

混合液放入离心机中离心,取下层沉淀(产物),使用蒸馏水多次洗涤产物,最后将产物在 $80\ ^\circ\text{C}$ 下真空干燥48 h,得到kaolin-OH。

取10 g kaolin-OH加入至装有蒸馏水(10 mL)和无水乙醇(75 mL)的三口烧瓶中,使用冰醋酸将溶液调至弱酸性,超声30 min,使kaolin-OH分散均匀,随后向三口烧瓶中加入2 g KH570,在 $85\ ^\circ\text{C}$ 下剧烈搅拌6 h,冷却至室温后,将改性混合液放入离心机中离心,取下层产物,并用无水乙醇多次洗涤产物,在 $80\ ^\circ\text{C}$ 下真空干燥产物24 h,得到kaolin-KH570。

kaolin-KH570的制备过程如图1所示。

1.3.2 kaolin/丙烯酸酯聚合混合液的制备

在装有温度计、恒压漏斗和搅拌器的四口烧瓶中陆续加入10 g BA,60 g 2-EHA,0.05 g BPO和10 g VAc并混合均匀;将不同质量的kaolin和kaolin-KH570分别加入到72 mL的乙酸乙酯中超声1 h,然后将超声后的kaolin或kaolin-KH570加入至四口烧瓶中并在 $80\ ^\circ\text{C}$ 下搅拌1 h;随后向烧杯加入72 mL的乙酸乙酯,再加入0.05 g BPO,1.25 g AM和2.5 g AA并混合均匀,混合液通过恒压漏斗在2 h内滴加到四口烧瓶反应体系中,并保温1.5 h;最后,通过恒压漏斗在1.5 h内将72 mL乙酸乙酯和0.05 g BPO滴加到反应体系中,并保温2 h,冷出料,得到聚合物混合液。

1.3.3 kaolin/丙烯酸酯复合PSA的制备

取适量的上述聚合物混合液,再加入一定量的乙酸乙酯将聚合混合液调整至合适的粘度,并均匀涂敷在涤纶(PET)薄膜(厚度为 $25\ \mu\text{m}$)表面,随后在 $60\ ^\circ\text{C}$ 条件下干燥20 min,最后得到厚度约为 $30\ \mu\text{m}$ 的kaolin/丙烯酸酯复合PSA(kaolin/丙烯酸酯PSA)和kaolin-KH570/丙烯酸酯复合PSA(即kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA)。

1.4 测试分析

(1) FTIR 分析: 将kaolin, kaolin-KH570和

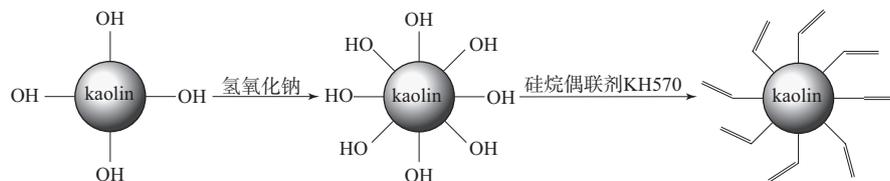


图1 kaolin-KH570的制备过程示意

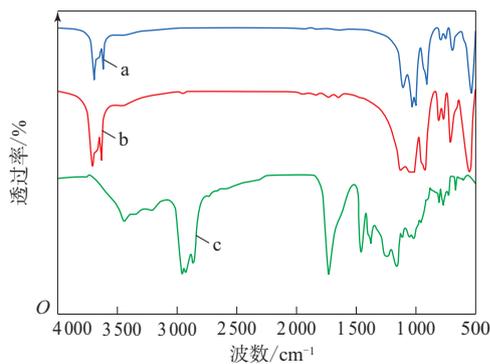
Fig.1 Schematic of preparation process of kaolin-KH570

kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA与溴化钾按质量比1/100混合并研磨均匀后,使用压片机压片,随后放入FTIR仪中测试,测试条件为:波数范围 $400\sim 4\,000\text{ cm}^{-1}$,温度 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。(2)接触角测试:将kaolin及kaolin-KH570粉末压成片状,将片状样品置于接触角测量仪上,并滴加水滴,观察样品接触角的大小。(3)TG分析:将丙烯酸酯PSA、kaolin/丙烯酸酯PSA和kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA分别称取约10 mg放入TG仪中测试,测试条件为:氮气气氛,升温速率 $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$,温度范围 $50\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。(4) 180° 剥离强度:按照GB/T 2792—2014进行测试。(5)持粘力测试:按照GB/T 4851—2014进行测试。

2 结果与讨论

2.1 FTIR分析

采用FTIR仪分别对kaolin, kaolin-KH570和kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA的分子结构进行表征,结果如图2所示。



a—kaolin; b—kaolin-KH570; c—kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA。

图2 样品的红外光谱

Fig. 2 FT-IR spectra of samples

从图2可以看出,在波数 $3\,600\text{ cm}^{-1}$ 处为—OH的伸缩振动吸收峰,kaolin和kaolin-KH570都存在强的—OH特征吸收峰,表明KH570改性kaolin时氢氧化钠溶液使kaolin表面羟基化,且KH570只与部分—OH发生反应,因此kaolin改性前后—OH特征吸收峰变化不明显。在波数 $2\,938\text{ cm}^{-1}$ 处为—CH₂—的伸缩振动吸收峰,在波数 $1\,717\text{ cm}^{-1}$ 处为—C=O的特征吸收峰,在波数 $1\,680\sim 1\,620\text{ cm}^{-1}$ 处为—C=C—的特征吸收峰,kaolin-KH570在这3处均有微弱的吸收峰,而kaolin没有,这是因为KH570与kaolin表面

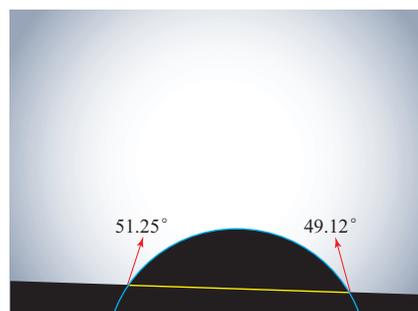
的—OH发生化学反应,形成化学键,表明kaolin表面成功接枝KH570,但接枝密度不高。

从图2还可以看出:在波数 $1\,630\text{ cm}^{-1}$ 处为—C=C—的特征吸收峰,表明kaolin-KH570表面接枝少量的烯丙基;在波数 $1\,734\text{ cm}^{-1}$ 处为—C=O的伸缩振动吸收峰,表明kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA中丙烯酸酯类单体发生了聚合反应;在波数 466 cm^{-1} 处为—Si—O的特征吸收峰,而在波数 $1\,000\sim 1\,300\text{ cm}^{-1}$ 处的多重吸收峰为kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA中聚丙烯酸酯分子的一C—O, —C—O—C和—Si—O的多重伸缩振动吸收峰重叠所致,进一步表明表kaolin-KH570参与丙烯酸酯类单体的共聚反应。

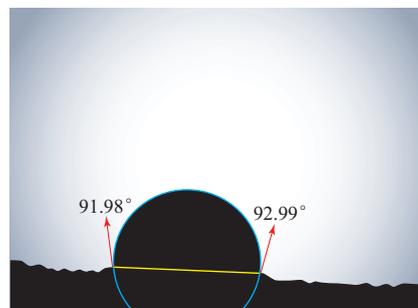
2.2 水接触角分析

采用接触角测量仪分别测定kaolin和kaolin-KH570的水接触角,结果如图3所示。

从图3可以看出,kaolin经KH570表面改性后,kaolin-KH570的接触角明显变大,疏水性增强。原因是KH570作为一种双官能团硅烷偶联剂,其一端带有烷氧基,另一端带有烯丙基,对kaolin改性时,kaolin表面的一OH可以与KH570的



(a) kaolin



(b) kaolin-KH570

图3 样品的水接触角

Fig. 3 Water contact angles of samples

烷氧基反应,故kaolin-KH570的疏水性明显增强,进一步证明了KH570成功改性了kaolin。

2.3 TG分析

采用TG仪表征了kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA的热稳定性,其结果如图4所示。

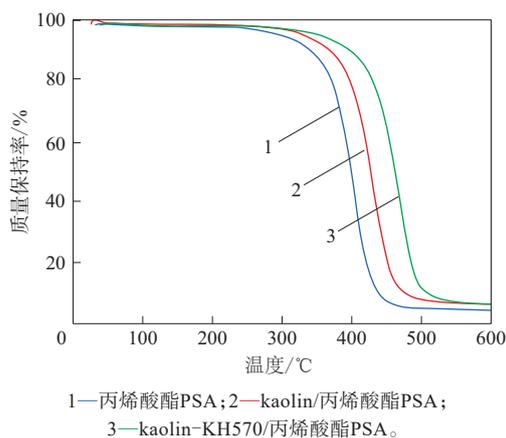


图4 样品的TG曲线
Fig. 4 TG curves of samples

从图4可以看出,在50~250 °C范围内,丙烯酸酯PSA有小于5%的质量损失率,这可能是丙烯酸酯PSA中含有的溶剂以及未反应单体的挥发导致。与丙烯酸酯PSA相比,kaolin/丙烯酸酯PSA的最大质量损失速率温度明显升高,由306 °C升至332 °C,并且残碳率也有所增大,表明kaolin的加入,使得丙烯酸酯PSA的热稳定性增强,这是因为刚性粒子kaolin的加入,使得丙烯酸酯PSA的无机组分增加,同时kaolin表面的一OH与聚丙烯酸酯分子含有的极性基团之间形成氢键而产生物理交联,从而使kaolin/丙烯酸酯PSA的热稳定性得到显著提升^[14-15]。加入kaolin-KH570后,kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA最大质量损失速率温度继续升高,从332 °C升至340 °C,原因如下:一方面是kaolin与聚丙烯酸酯分子之间形成氢键而产生物理交联;另一方面是带有烯丙基的kaolin在丙烯酸酯类单体原位聚合时,与丙烯酸酯类单体发生共聚合反应而使kaolin与聚丙烯酸酯分子间发生了化学交联,物理交联和化学交联使聚丙烯酸酯分子之间的内聚力增大,从而使kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA的热稳定性得到进一步提升。

2.4 耐热性能分析

采用180°剥离强度分析kaolin-KH570/丙烯

酸酯PSA的耐热性能。将不同用量kaolin-KH570制备的kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA均匀铺在镜面不锈钢板上,将其置于不同温度下的烘箱中处理2 h后,取出冷却置室温,剥开胶片后观察不锈钢板表面的残胶情况^[13]。若不锈钢板表面无残胶出现,用“×”表示;表面有残胶但不明显,用“√”表示;表面残胶较多,用“√√”表示;表面残胶很多,用“√√√”表示。表1为kaolin-KH570用量对kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA耐热性能的影响。

表1 kaolin-KH570用量对kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA耐热性能的影响

Tab. 1 Effect of kaolin-KH570 contents on heat resistances of kaolin-KH570/acrylate PSA

PSA烘干 温度/°C	kaolin-KH570质量分数/%					
	0	0.5	1	1.5	2	2.5
80	√	×	×	×	×	×
100	√√	×	×	×	×	×
120	√√√	√√	√	×	×	×
140	√√√	√√	√√	×	×	×
150	√√√	√√	√√	×	×	×
155	√√√	√√√	√	×	×	×
160	√√√	√√√	√√	×	×	×
165	√√√	√√√	√√√	√√√	√√	√

从表1可以看出:当不含kaolin-KH570时,在80 °C烘干的丙烯酸酯PSA剥离时在不锈钢板表面出现残胶现象。随着kaolin-KH570用量的增大,kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA的耐热性能逐渐提高,剥离时残胶现象逐渐减少。当kaolin-KH570质量分数为1.5%时,在150 °C烘干的kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA剥离时未出现残胶现象;但烘干温度升至165 °C时,kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA剥离时出现严重残胶现象。总之,改性高岭土质量分数为1.5%、烘干温度为160 °C时,kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA的热稳定性好,剥离时未出现残胶现象,其可满足对污秽清除的要求。

2.5 粘接性能分析

kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA的初粘力、180°剥离强度、23 °C持粘力以及100 °C持粘力与kaolin-KH570用量的关系曲线如图5所示。其中,初粘力采用滚球法测试,用钢球号表征,钢球号越大,表示初粘力越大;180°剥离强度表征了样品对另一个物体表面的附着力;室温(23 °C)持粘力和高温(100 °C)持粘力用样品的持续粘着时间表征。

从图5可以看出,随着kaolin-KH570用量的增

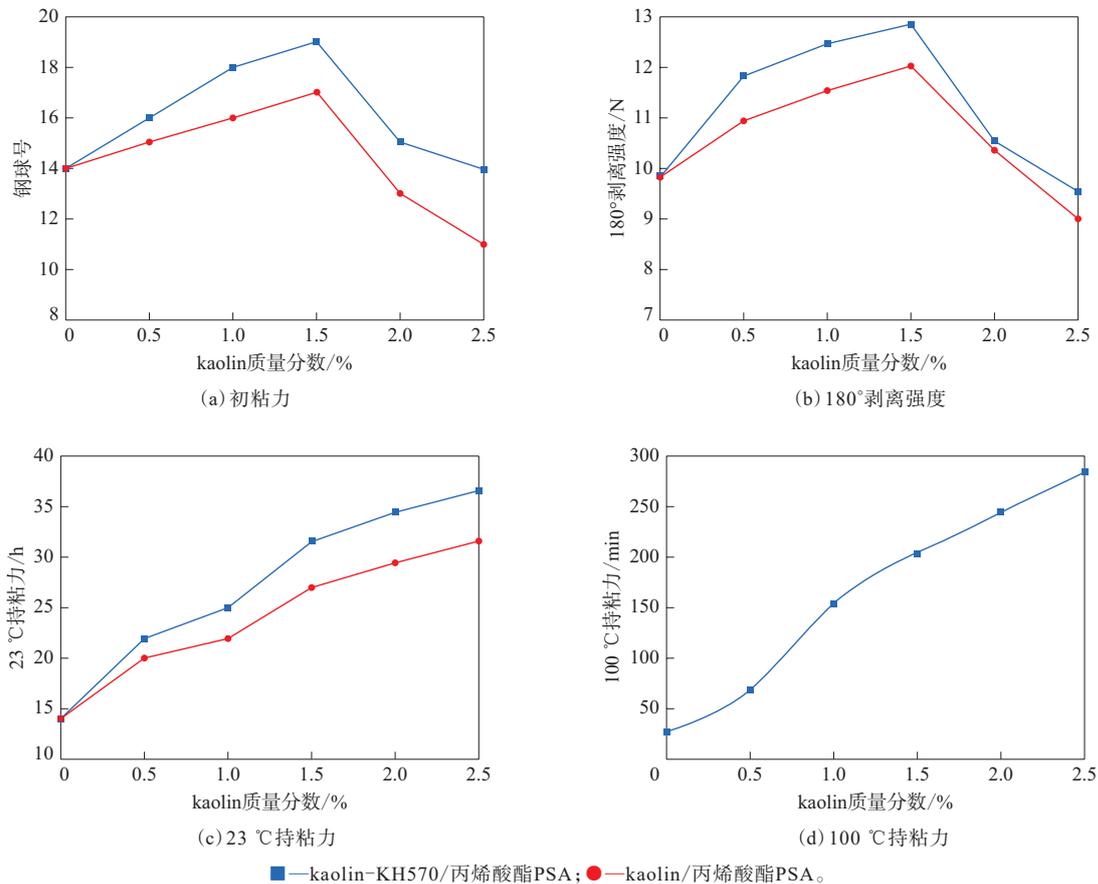


图5 kaolin/丙烯酸酯PSA和kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA的粘接性能

Fig. 5 Bonding performances of kaolin/acrylate PSA and kaolin-KH570/acrylate PSA

大, kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA的23 °C持粘力和100 °C持粘力持续增大。分析原因, kaolin-KH570表面带有许多极性基团, 提高了聚丙烯酸酯分子的极性, 使其与试验所用的极性钢材之间产生强相互作用, 易于与极性钢材形成大量的氢键, 从而使得kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA的内聚力增大。

当kaolin-KH570质量分数为1.5%时, kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA的初粘力和180°剥离强度最大; 继续增大kaolin-KH570用量, kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA的初粘力和180°剥离强度减小。这是因为kaolin-KH570用量过大, 聚丙烯酸酯分子的交联程度过大, 导致聚丙烯酸酯分子的移动性和流变性变差, 使得钢材与kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA的粘接强度减小。

综合得出: 当kaolin-KH570质量分数为1.5%时, kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA的粘接效果最优; 与未添加kaolin的丙烯酸酯PSA相比, kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA的初粘力增大35.7%, 180°

剥离强度增大30.7%, 23 °C持粘力增大128.6%。

3 清除绝缘子表面污秽性能的评价

将kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA膜片粘贴于挂网运行一定年限的室温硫化硅橡胶(RTV)涂层绝缘子和复合绝缘子上, 用一定压力将膜片抚平后再将膜片从RTV涂层绝缘子和复合绝缘子表面剥离, 即可除去污秽。

3.1 污秽清除效果分析

采用高压水冲洗和酒精擦拭对RTV涂层绝缘子进行污秽清除, 结果如图6所示。

从图6可以看出: 高压水冲洗可清除绝缘子RTV涂层表面的浮灰, 但固着在RTV涂层表面的污秽不易清除; 酒精擦拭可清除固着在RTV涂层表面的污秽, 但擦洗后RTV涂层表面憎水性丧失。

采用kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA膜片对积污的RTV涂层绝缘子和复合绝缘子进行污秽清除, 结果如图7所示。



(a) 高压水冲洗



(b) 酒精擦拭

图6 传统方式污秽清除效果

Fig. 6 Decontamination effects of traditional ways



(a) 未老化的RTV涂层绝缘子



(b) 老化的RTV涂层绝缘子



(c) 老化的复合绝缘子

图7 kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA膜片的污秽清除效果

Fig. 7 Decontamination effects of kaolin-KH570/acrylate PSA film

盐率可分别达到85.8%和80.6%，清洗效果良好，满足GB/T 2792—2014对电力设备部件表面的洗净率和除盐率大于80%的要求。

从表2和图8可以看出，绝缘子的污秽清除部分表面的憎水性恢复到HC1级，而污秽未清除部分表面的憎水性为HC6级，即处于憎水性丧失状态。

采用RTV涂层作为外绝缘层就在于其具有优良的憎水性。憎水性指的是材料表面不容易潮湿，吸附在材料表面的水分以不连续的孤立小水珠的形式存在，不会形成连续水膜，从而限制电流泄漏，提高材料的抗污闪能力。

从图7可以看出：对于未老化的积污RTV涂层绝缘子，该方法可将污秽清除而保留RTV涂层；对老化的RTV涂层绝缘子和复合绝缘子，该方法可将污秽和粉化层一起清除，且无残胶出现。这归因于聚丙烯酸酯分子含有大量极性基团，能润湿污秽颗粒的极性表面，并与之发生强的粘接作用，而与绝缘子非极性表面或涂层之间的作用力相对较小，在外力作用下，kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA能粘接并剥离污秽和老化层而保持绝缘子原有的表面性质。

3.2 洗净率和除盐率以及憎水性分析

为进一步定量分析kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA的污秽清除效果，采用kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA膜片对污层清除后，对绝缘子进行洗净率和除盐率测试（按照GB/T 2792—2014进行）以及憎水性测试（按照DL/T 810—2012^[16]的HC分级法进行），结果分别如表2和图8所示。

从表2可以看出，kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA膜片对绝缘子表面进行除污后，其洗净率和除

3.3 绝缘性能分析

表面电阻是评价绝缘子表面污秽清除状态的关键指标，因此在用kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA膜片清除复合绝缘子表面污秽前后，采用双电极法测量了复合绝缘子淋水后的表面电阻，试验分为憎水性丧失（表面淋水）和恢复（表面淋水后）两

表2 未老化的复合绝缘子污秽清除试验结果

Tab. 2 Decontamination test results of non aged composite insulator

试样	洗净率/%	除盐率/%	憎水性/级
污秽清除前			HC6
污秽清除后	85.8	80.6	HC1

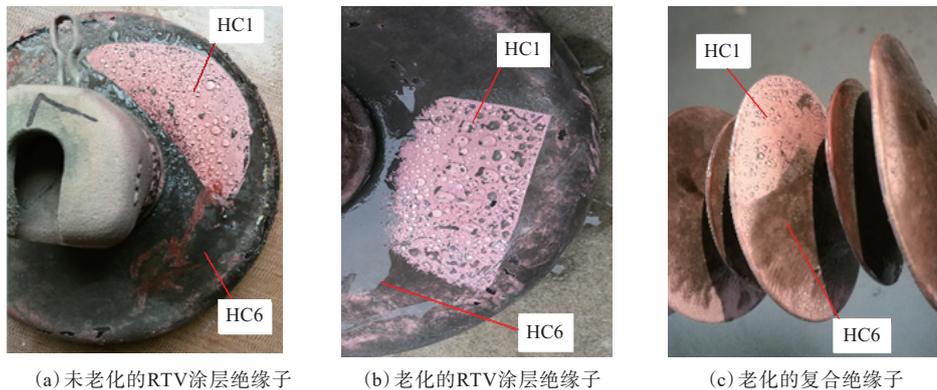


图8 污秽清除后绝缘子表面的憎水性

Fig. 8 Hydrophobicities of insulator surfaces after contamination removal

种状态。清除污秽前后复合绝缘子的表面电阻测试结果如表3所示。

表3 复合绝缘子的表面电阻测试结果

Tab. 3 Surface resistance test results of composite insulators

项 目	表面电阻/GΩ	
憎水性状态	丧失	恢复
污秽清除前	0.2	1.5
污秽清除后	6.5	260

从表3可以看出:污秽清除前,在表面淋水后,表面憎水性丧失后的积污老化复合绝缘子的表面电阻仅为200 MΩ,属于严重劣化;经过24 h干燥后再次对积污老化复合绝缘子进行测试,其表面电阻为1.5 GΩ,有一定恢复,但电阻值仍偏低。污秽清除后,表面憎水性丧失和恢复的复合绝缘子的表面电阻分别为6.5和260 GΩ,表面电阻有明显的增大,表明采用kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA提高复合绝缘子表面的绝缘性能。

4 结论

(1) 利用KH570对羟基化处理的kaolin进行表面改性后,得到表面带有烯丙基官能团的kaolin-KH570,然后借助kaolin-KH570的特性和交联作用,与丙烯酸酯类单体原位聚合制备kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA。

(2) 当kaolin-KH570质量分数为1.5%时,kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA的粘接性能最佳;与未加kaolin的丙烯酸酯PSA相比,其初粘力增大35.7%,180°剥离强度增大30.7%,23℃持粘力增大128.6%。kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA膜片能有效清除复合绝缘表面污秽。

(3) 采用kaolin-KH570/丙烯酸酯PSA膜片清除绝缘子表面污秽,绝缘子表面的洗净率和除盐率可分别达到85.8%和80.6%,同时能使绝缘子表面的憎水性从HC6级恢复至HC1级,并提高其表面的绝缘性能,提升了绝缘设备在污秽条件下的运行可靠性。

参考文献:

- [1] 关志成,刘瑛岩,周远翔,等.绝缘子及输变电设备外绝缘[M].北京:清华大学出版社,2006.
- [2] 李鹏,李金忠,崔博源,等.特高压交流输电变电装备最新技术发展[J].高电压技术,2016,42(4):1068-1078.
LI P, LI J Z, CUI B Y, et al. Achievements in the newest technology of UHV AC power transmission equipment[J]. High Voltage Engineering, 2016, 42(4): 1068-1078.
- [3] 舒印彪,胡毅.交流特高压输电线路关键技术的研究及应用[J].中国电机工程学报,2007,27(36):1-7.
SHU Y B, HU Y. Research and application of the key technologies of UHV AC transmission line[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(36): 1-7.
- [4] 邹平,郑天祺,冯俊,等.支柱绝缘子表面污秽带电清洗剂的制备与清洗特性研究[J].广东化工,2017,44(1):39-40.
ZOU P, ZHENG T Q, FENG J, et al. Study on the preparation and cleaning characteristics of the electrified cleaning agent for the surface contamination of the supporting insulator[J]. Guangdong Chemical Industry, 2017, 44(1): 39-40.
- [5] LAZZERI P, FRANCO G, GAROZZO M, et al. TOF-SIMS study of adhesive residuals on device contact pads after wafer taping and backgrinding[J]. Applied Surface Science, 2003, 203-204: 445-448.
- [6] 万小东,徐兵,胡伟,等.高效清除硅橡胶绝缘表面污秽可剥离胶带的研究[J].湖北大学学报(自然科学版),2021,43(3):315-320, 328.
WAN X D, XU B, HU W, et al. Study on strippable adhesive tape using in decontamination of insulating surface[J]. Journal of Hubei

- University (Natural Science Edition), 2021, 43 (3): 315–320, 328.
- [7] 梁曦东, 王晶, 蔡元纪, 等. 复合绝缘子表面污层固着及其对绝缘性能的影响[J]. 高电压技术, 2013, 37 (6): 1296–1303.
LIANG X D, WANG J, CAI Y J, et al. Fixation of dust layer on composite insulator surface and its effect on insulating properties[J]. High Voltage Engineer, 2013, 37 (6): 1296–1303.
- [8] 周卫新, 袁永健, 石俭莉, 等. 压敏胶粘剂的研究进展[J]. 化工新型材料, 2009, 37 (9): 37–39, 43.
ZHOU W X, YUAN Y J, SHI J L, et al. Research progress of pressure-sensitive adhesives[J]. New Chemical Materials, 2009, 37 (9): 37–39, 43.
- [9] 陈平绪, 叶南颺, 王林, 等. 耐高温丙烯酸酯乳液压敏胶的固化及性能研究[J]. 化学与粘合, 2015, 37 (4): 264–267.
CHEN P X, YE N B, WANG L, et al. Study on the curing and property of acrylate emulsion pressure sensitive adhesive with high temperature resistance[J]. Chemistry and Adhesion, 2015, 37 (4): 264–267.
- [10] 陈未凤, 傅和青. 纳米 Fe_3O_4 改性水性丙烯酸酯磁性压敏胶的制备与性能表征[J]. 化工学报, 2015, 66 (12): 5135–5141.
CHEN W F, FU H Q. Preparation and characterization of waterborne acrylic magnetic pressure sensitive adhesive modified by nano- Fe_3O_4 particle[J]. CIESC Journal, 2015, 66 (12): 5135–5141.
- [11] 柳彬彬, 向如亭, 吕红, 等. FPC保护膜用耐高温PSA胶带的研制[J]. 中国胶粘剂, 2012, 21 (2): 44–49.
LIU B B, XIANG R T, LYU H, et al. Study on preparing PSA tape with high temperature resistance for FPC protecting film[J]. China Adhesives, 2012, 21 (2): 44–49.
- [12] PANG B L, RYU C M, KIM H I. Improvement of thermal stability of UV curable pressure sensitive adhesive by surface modified silica nanoparticles[J]. Materials Science and Engineering B, 2013, 178 (18): 1212–1218.
- [13] 殷俊, 吴仲岩, 胡伟, 等. 表面官能化滑石粉/丙烯酸酯压敏胶的制备及性能[J]. 材料科学与工程学报, 2020, 38 (3): 377–381.
YIN J, WU Z K, HU W, et al. Preparation and properties of surface functionalized talcum powder/acrylate pressure sensitive adhesive[J]. Journal of Materials Science and Engineering, 2020, 38 (3): 377–381.
- [14] 陆银平, 刘钦甫, 牛胜元, 等. 硅烷偶联剂改性纳米高岭土的研究[J]. 非金属矿, 2008, 31 (5): 9–11.
LU Y P, LIU Q F, NIU S Y, et al. Surface modification of nanokaolin by silane coupling agent[J]. Non-Metallic Mines, 2008, 31 (5): 9–11.
- [15] 吴迪. 滑石粉基耐高温复合阻燃剂的制备及应用研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2014.
- [16] 电力行业绝缘子标准化委员会. ± 500 kV直流棒形悬式复合绝缘子技术条件: DL/T 810—2012[S]. 北京: 中国电力出版社, 2003.

收稿日期: 2022-04-25

Preparation and Performance Analysis of Silane Couple Agent KH570 Modified Kaolin/Acrylate Composite Pressure Sensitive Adhesive

CHU Jinwei¹, WAN Xiaodong², WEI Xiaoxing¹, NAN Jing²

(1. Ultra High Voltage Transmission Company of China Southern Power Grid Co., Ltd, Guangzhou 510663, China; 2. China Electric Power Research Institute Co., Ltd, Wuhan 430074, China)

Abstract: In this study, the surface functionalized kaolin with allyl function groups (kaolin-KH570) was prepared by modification of the hydroxylated kaolin (kaolin-OH) using silane coupling agent KH570, and the kaolin-KH570/acrylate composite pressure sensitive adhesive (kaolin-KH570/acrylate PSA) which could be used as an efficient cleaner for the surface of insulators was produced by in situ polymerization of acrylate monomers with kaolin-KH570. The results showed that, when the mass fraction of kaolin-KH570 was 1.5%, the bonding performance of kaolin-KH570/acrylate PSA was the best, and compared with acrylate PSA without kaolin, its initial tackiness, 180° peel strength and 23 °C shear adhesion were increased by 35.7%, 30.7% and 128.6%, respectively. After kaolin-KH570/acrylate PSA film was used to clean the surface of the insulators, the cleaning rate and salt removal rate of the insulator surface could reach 85.8% and 80.6%, respectively, at the same time the hydrophobicity could be restored from HC6 to HC1, insulation property could be improved, and the operational reliability of the composite insulation equipment under dirty conditions could be further improved.

Key words: acrylate; pressure sensitive adhesive; modified kaolin; silane coupling agent KH570; insulator; decontamination; bonding performance