

# 耐化学腐蚀的复合绝缘子用硫化硅橡胶的研制

盘素芬<sup>1</sup>, 邢 军<sup>2</sup>, 欧阳旭丹<sup>1</sup>, 唐湘军<sup>1</sup>, 玉芝杰<sup>1</sup>

(1.广州市迈克林电力有限公司, 广东 广州 5109901; 2.徐州供电公司, 江苏 徐州 221009)

**摘 要:**通过测定混炼胶在不同酸碱性浓度溶液中憎水性, 根据其丧失快慢来判定胶料的耐腐蚀性能, 结果表明通过使用补强剂与填料本身的表面具备与硅橡胶相容性的基团, 使在混炼过程中补强剂与填料能充分湿润均匀分散于硅橡胶中, 从而提高憎水性和耐电蚀损性能。并添加了经环氧树脂 E-20 改性后的有机硅树脂, 并通过优化配方和工艺使硅橡胶具有良好的柔韧性、防水性, 高绝缘性能和介电强度及高憎水性能, 及优良的耐化学腐蚀性。

**关键词:**复合绝缘子; 硫化胶; 环氧改性硅树脂; 耐化学腐蚀

## 0 引言

复合绝缘子本身有很好的抗污能力, 但是面对大环境污染: 如沿海地区、水泥厂、化工厂、冶金、发电厂污染源等地区, 对复合绝缘子的安全运行造成极大的威胁。为了要求材料的耐漏电起痕能力, 复合绝缘子用的硅橡胶伞套材料中增加了很多的填料, 在以上重污区时会影响到硅橡胶的迁移能力, 因此在这些地区除了对复合绝缘子的伞形结构尺寸优化设计, 爬电比距的合理选择外, 还要考虑酸碱污秽地区对复合绝缘子伞套材料的腐蚀严重的问题。复合绝缘子在酸碱化学条件下憎水性降低, 因此提高复合绝缘子在酸碱化学条件下的憎水性恢复成了关键的技术难点。针对复合绝缘子伞套材料的耐酸碱化学腐蚀能力的研究, 并根据在重污区复合绝缘子的老化特点, 来选用合理的配合剂, 进一步优化复合绝缘子硅橡胶配方, 对提高复合绝缘子使用寿命和运行可靠性意义重大。

## 1 实验

### 1.1 主要原材料与设备

#### 1.1.1 主要原材料

硅橡胶生胶: 甲基乙烯基硅橡胶 110-2, 气相二氧化硅: HL-200, 氢氧化铝: 羟基硅油: 环氧改性有机硅树脂: SH-023-4, 硫化剂: DCP

#### 1.1.2 设备

真空捏合机: ZH-100, 如皋市强盛塑料化工机械厂; 开炼机: X(S)K-360, 无锡市第一橡塑机械设备厂; 平板硫化机: XLB-50T, 广州飞力橡胶设备

有限公司; 电子式万能试验机: GP-DE2000M, 深圳高品检测设备有限公司。

### 1.2 混炼胶配方优化

#### 1.2.1 基础配方

以甲基乙烯基硅橡胶为基体, 添加补强剂气相二氧化硅, 阻燃剂氢氧化铝微粉, 羟基硅油和适量的偶联剂等助剂及硫化剂 DCP。

#### 1.2.2 优化配方

为提高胶料的憎水性能, 电气性能及耐化学腐蚀性能, 采取以下方案对基础配方进行优化。

(1)为了使气相二氧化硅能对硅橡胶得到充分的补强, 补强填充剂气相二氧化硅采用混合偶联剂和六甲基二硅氮烷对表面进行处理, 使气相二氧化硅表面得到改性能更好的分散和浸润于硅橡胶中以提高胶料的电气性能, 同时使气相二氧化硅表面具备了化学粘接的基团-Si-O-CH<sub>3</sub>。

(2)采用混合偶联剂对氢氧化铝表面进行处理, 使其表面也有化学粘接性能的基团-Si-O-CH<sub>3</sub>, 使其与硅橡胶有很好的结合, 提高胶料的电气性能和憎水性能。

(3)选用合理的耐化学腐蚀性强的与胶料相容性好的改性硅树脂作助剂以提高胶料的耐化学腐蚀性能: 通过添加 KH-560 硅烷偶联剂提高硅橡胶和环氧树脂 E-20 改性甲基硅树脂相容性, KH-560 硅烷偶联剂含有与硅橡胶和环氧树脂 E-20 改性甲基硅树脂具有相似的基团, 在混炼过程中可以降低硅橡胶和环氧树脂 E-20 改性甲基硅树脂的界面张力, 提高两者的相容性及共混比例。另外还添加三乙醇胺, 其呈碱性, 在碱性环境中, 硅橡胶生胶中的烷

氧基能与环氧树脂 E-20 改性甲基硅树脂中的羟基发生反应, 也形成牢固稳定的硅-氧-烷键, 使硅橡胶生胶与环氧树脂 E-20 改性甲基硅树脂的相容性进一步提高, 从而大大提高复合绝缘子用伞套材料的耐化学腐蚀性。

1.3 优化工艺

(1) 环氧改性有机硅树脂母炼胶的制备

取一定量环氧改性有机硅树脂放入三口烧瓶中, 在一定温度下回流 4-6h 后, 然后在真空下脱去低分子物质, 冷却。然后取一定量的硅橡胶生胶, 加入已脱低的环氧改性有机硅树脂, 并加入适宜的硅烷偶联剂和助剂, 通过真空捏合机在加热的状态下并抽真空捏合约 1h 后, 出料(简称硅树脂母炼胶)备用。

(2) 气相二氧化硅母炼胶的制备

将偶联剂放在带有排气孔的处理器中, 并加入少量的陶瓷球, 连续进行不加热运转 0.5h, 再添加适量的六甲基二硅氮烷, 加热温度为 150℃进行 1~2h, 停止加热 0.5h, 以确保偶联剂和六甲基二硅氮烷对气相二氧化硅表面能充分的处理 0.5h。<sup>[1]</sup>

取硅树脂母炼胶投入真空捏合机中, 并分 4 次分别投入已改性的气相二氯化硅, 硅烷偶联剂, 羟基硅油等助剂, 并捏合成团 2h 后得气相二氧化硅母炼胶。

(3) 耐化学腐蚀混炼胶的制备

对氢氧化铝微粉进行处理, 采用多种偶联剂按一定比例混合物, 将偶联剂混合物经过高速搅拌机与氢氧化铝粉进行表面处理。

按比例活性氢氧化铝粉及其对应的助剂分三次投入已制备好的气相二氧化硅母炼胶中混合均匀, 并在 100℃~120℃时开始抽真空, 真空度为 -0.04~0.09MPa, 持续真空捏合 2h, 出料薄通, 过滤, 加色母及硫化剂制成耐化学腐蚀混炼胶。

2.3 制片

取上述混炼胶进行返炼, 在平板硫化机上, 160℃条件下硫化 10min, 按规定的形状和厚度制成相应的硫化胶片。

2.4 胶片性能测试

硫化胶的拉伸强度和伸长率、撕裂强度及邵尔 A 硬度取厚度为 2mm 的试片, 分别按 GB/T 528-2009、GB/T 529-2008 和 GB/T 531.1-2008 标准进行测试。

硫化胶的体积电阻率、击穿强度取  $\phi 100 \times 1\text{mm}$  的试片, 按 GB/T 1692-2008、GB/T 1695-2005 标准

进行测试。

3 试验结果

3.1 补强填充剂表面处理对胶料性能的影响

表 1 补强填充剂表面处理对胶料性能的影响

项目	活性氢氧化铝粉含量			氢氧化铝粉含量		
	90 份	125 份	150 份	90 份	125 份	150 份
拉伸强度/MPa	6.18	6.24	6.07	5.96	6.06	5.78
伸长率/%	260	243	221	200	190	150
撕裂强度/kN/m	15.98	16.34	14.62	15.45	15.89	13.42
邵尔硬度	65	67	70	64	68	70
体积电阻率 / $\Omega \cdot \text{m}$	1.98E+13	1.63E+13	9.88E+12	1.85E+13	1.48E+13	9.08E+12
击穿强度, kV/mm	36.96	34.48	31.39	35.42	33.03	30.21
耐漏电起痕深度/mm	$\leq 1.56$	$\leq 1.06$	$\leq 0.89$	$\leq 1.60$	$\leq 1.12$	$\leq 0.91$
初始憎水性	HC1	HC1	HC1	HC1	HC1	HC1
憎水性丧失	HC1	HC1	HC1	HC1~HC2	HC1~HC2	HC2
憎水性恢复	HC1	HC1	HC1	HC1	HC1	HC1

注: 硅橡胶生胶 100 份, 改性气相二氧化硅 35 份。

从表 1 可以看出, 采用表面处理后的补强填充剂后, 硫化胶的机电性能明显提高, 特别电气性能和憎水性能。随着氢氧化铝粉含量的增加, 胶片扯断伸长率、撕裂强度和体积电阻率也会相应的降低, 而胶料的耐漏电起痕性能会得到提高。<sup>[1]</sup>

3.2 环氧改性有机硅脂对胶料性能的影响

表 2 环氧改性有机硅树脂对胶料性能的影响

项目	环氧改性有机硅树脂用量					
	0 份	2 份	5 份	8 份	10 份	15 份
拉伸强度/MPa	6.24	6.20	6.27	6.18	5.86	5.12
伸长率/%	243	230	248	220	192	176
撕裂强度/kN/m	16.34	16.56	16.59	15.68	14.60	14.02
邵尔硬度	67	67	69	70	73	75
体积电阻率 / $\Omega \cdot \text{m}$	1.63E+13	1.30E+13	1.60E+13	1.56E+13	1.43E+13	7.56E+12
击穿强度, kV/mm	34.48	33.35	33.13	30.21	29.34	25.12
耐漏电起痕深度/mm	$\leq 1.06$	$\leq 1.05$	$\leq 1.04$	$\leq 1.00$	$\leq 1.04$	$\leq 0.98$
初始憎水性	HC1	HC1	HC1	HC1	HC1	HC1
憎水性丧失	HC1	HC1	HC1	HC1	HC1	HC1
憎水性恢复	HC1	HC1	HC1	HC1	HC1	HC1

注: 硅橡胶生胶 100 份, 改性气相二氧化硅 35 份。活性氢氧化铝 125 份。

从表 2 可以看出, 随着环氧改性有机硅树脂用量的增加, 胶料变脆, 胶料的伸长率下降。添加一定用量环氧改性硅树脂, 胶料的主要性能参数均符

合复合绝缘子的生产标准要求, 不会破坏混炼胶的主要性能。但环氧改性硅树脂用量高达 10 份以上胶料撕裂强度有下降的趋势。

### 3.3 耐化学腐蚀性能

酸碱盐对硅橡胶憎水性影响见表 3。

表 3 典型酸碱盐溶液中憎水性丧失达 HC<sub>3</sub>~HC<sub>4</sub> 的时间对比

环氧改性有机 硅树脂用量	时间, h		
	5% HNO <sub>3</sub> 溶液	5% NaOH 溶液	5% NaCl 溶液
0	16	100	360
2	17	121	380
5	20	148	412
10	33	230	500

注: 100 份硅橡胶生, 35 份改性气相二氧化硅。125 份活性氢氧化铝,

优化后的硅橡胶在酸碱盐三种不同的酸碱度溶液中的, 憎水性的丧失相对优化前胶料的慢。但硝酸条件下, 对胶料的分子链断裂最严酷, 会破坏硅橡胶的分子结构<sup>[1]</sup>, 在 24h 后 5% HNO<sub>3</sub> 溶液中的胶片憎水性已达 HC<sub>3</sub>~HC<sub>4</sub> 级。

随着添加环氧改性硅树脂用量的增加, 在酸、碱、盐三种不同溶液中憎水性丧失达 HC<sub>3</sub>~HC<sub>4</sub> 级均相对未添加胶料的延长, 而在 5% HNO<sub>3</sub> 溶液中憎水性丧失最为严酷, 但添加了环氧改性硅树脂后也能延长了硅橡胶的憎水性丧失。

## 4 结论

对补强填充剂即气相二氧化硅和氢氧化铝粉表面进行合理的表面改性, 能大提高硅橡胶的憎水性的电气性能;

环氧改性有机硅树脂适当的处理, 使其与硅橡胶有一定的相容性, 使胶料对酸、碱、盐溶液的耐受能力强, 大大延迟了憎水性的丧失能力, 从而提高胶料在不同化学腐蚀条件下的耐腐蚀能力, 也提高在盐碱地区和化工厂等地区复合绝缘子的使用寿命。

### 参考文献: (

- [1] 林修勇. 氢氧化铝对电气绝缘材料用硅橡胶性能的影响[J]. 特种橡胶制品, 2002, 23(5).
- [2] 赵春明, 朱晓静, 梁晓晨, 等. 气相法二氧化硅的表面改性[J]. 有机硅材料, 2010, 24 (1) 37-39.
- [3] 梁英. 高温硫化\_HTV\_硅橡胶电晕老化特性及机理的研究[D]. 保定: 华北电力大学电气与电子工程学院, 2008.

### 作者简介:

盘素芬 (1976—), 女, 广西河池人, 助理工程师, 从事高分子化工技术工作;

邢 军 (1962—), 男, 江苏徐州人, 高级工程师, 从事送电线路技术工作, E-mail xingjun0516@139.com。