

## 自然老化对液态硅橡胶性能的影响

陈巧玲 李壮优 于环

河南平高电气股份有限公司, 河南 平顶山 467013

**[摘要]** 硅橡胶以其独特的化学键和结构在电力行业中得到了广泛的应用, 但在实际运行中总是出现一些老化的问题。本研究通过制备一系列液态硅橡胶样片, 定期跟踪检测其机械性能和电气性能。试验结果表明: 液态硅橡胶具有较好的机械性能和电气性能。

**[关键词]** 液态硅橡胶; 自然老化; 机械性能; 电气性能

DOI: 10.33142/hst.v3i6.2972

中图分类号: TQ333

文献标识码: A

## Effect of Natural Aging on Properties of Liquid Silicone Rubber

CHEN Qiaoling, LI Zhuangyou, YU Huan

Henan PingGao Electric Co., Ltd., Pingdingshan, Henan, 467013, China

**Abstract:** Silicone rubber has been widely used in electric power industry because of its unique chemical bond and structure, but it always has some aging problems in actual operation. In this study, a series of liquid silicone rubber samples were prepared, and their mechanical and electrical properties were detected regularly. The results show that the liquid silicone rubber has good mechanical and electrical properties.

**Keywords:** liquid silicone rubber; natural aging; mechanical properties; electrical properties

### 引言

随着我国远距离高压直流输电的发展以及环境污染的加重, 复合绝缘子以其重量轻, 机械强度高、憎水性和憎水迁移性强、耐污闪电压高、安装维护方便等优势在我国得到了广泛的应用, 其用量已居世界第一<sup>[1,2]</sup>。但复合绝缘子在运行中长期承受强电场、高温、日晒等各种电气、机械和环境的综合作用, 硅橡胶复合绝缘子表现出憎水性下降、伞裙变色、粉化、漏电起痕或电蚀损、端部密封失效、不明原因闪络等现象<sup>[3,4]</sup>。因此复合绝缘子在长期运行环境因素作用下的老化问题引起了绝缘子生产、运行和科研部门的高度重视。

复合绝缘子外绝缘材料有两种: 固体硅橡胶和液态硅橡胶, 复合绝缘子的老化主要是外绝缘材料的老化引起, 目前国内外对于硅橡胶材料的老化特性也有一些研究<sup>[5]</sup>, 研究方法主要有两种, 一是在人工老化实验的基础上开展; 二是采用理论分析来推测复合绝缘子性能的变化。但是采用自然老化并定期跟踪其性能变化的研究却鲜有报道<sup>[6]</sup>。本文采用自然老化的方法, 以液态硅橡胶胶料压制硅橡胶样片, 让其自然老化, 并每年跟踪其力学性能和电气性能的变化, 研究自然老化对液态硅橡胶材料机电性能的影响。

### 1 制备及表征

#### 1.1 原材料

实验采用硫化后的液态硅橡胶试样, 用夹具将其固定、放置于楼顶的阳台上, 使之暴露在自然环境之中, 每 6 个月对样品进行一次性能检测。河南平顶山市地处河南省中部, 地理坐标介于北纬 33° 08' 至 34° 20', 东经 112° 14' 至 113° 45' 之间, 属暖风带大陆性季风气候, 四季分明, 气候温和, 雨量充沛。全市年平均总日照时数为 1868~2378h, 年平均气温在 15.2~15.8℃, 极端最高温 42.1℃, 极端最低温-11.3℃。全市年平均降水量为 612~1287mm。

### 2 结果和讨论

#### 2.1 机械性能测试

##### 2.1.1 硬度

硬度是衡量固体材料性能的重要指标之一, 反应了固体材料抗拒由于外界物体入侵造成的永久变形的能力。本实验采用手持邵氏 A 型硬度计来测量样品的硬度。结果如图 1 所示, 从图中可以看出, 随着时间的延长, 液态硅橡胶硬度有所增加, 说明材料内部交联度上升, 材料已经发生老化<sup>[6]</sup>, 但是增加趋势不是特别大, 经过 72 个月的自然老化后, 液态硅橡胶的硬度增加了 5%。

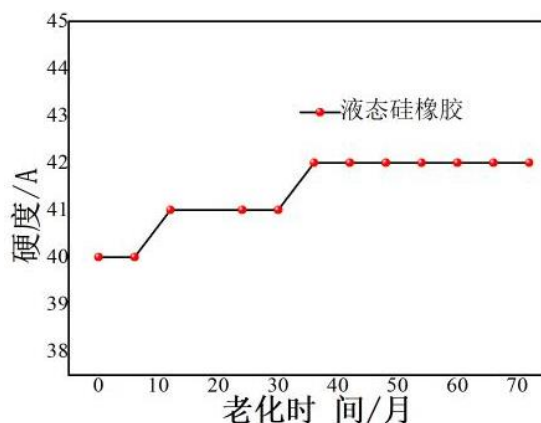


图1 自然老化过程中液态硅橡胶硬度的变化

### 2.1.2 力学性能

本实验使用拉力试验机 WAW-100T, 分别测量了每组样片的拉伸强度、拉断伸长率和撕裂强度。实验结果如图 2-3 所示。从图 2(a)可以看出, 随着老化时间的延长, 液态硅橡胶的拉伸强度有所下降, 但下降趋势比较缓慢, 经过 72 个月的自然老化后, 液态硅橡胶的拉伸强度由 5.5MPa 降低到 4.8MPa。图 2(b)是液态硅橡胶的拉断伸长率随自然老化时间延长的变化趋势。从图中可以看出, 随着老化时间的延长, 液态硅橡胶拉断伸长率不断下降, 经过 72 个月自然老化后, 液态硅橡胶拉断伸长率下降了 14.4%。

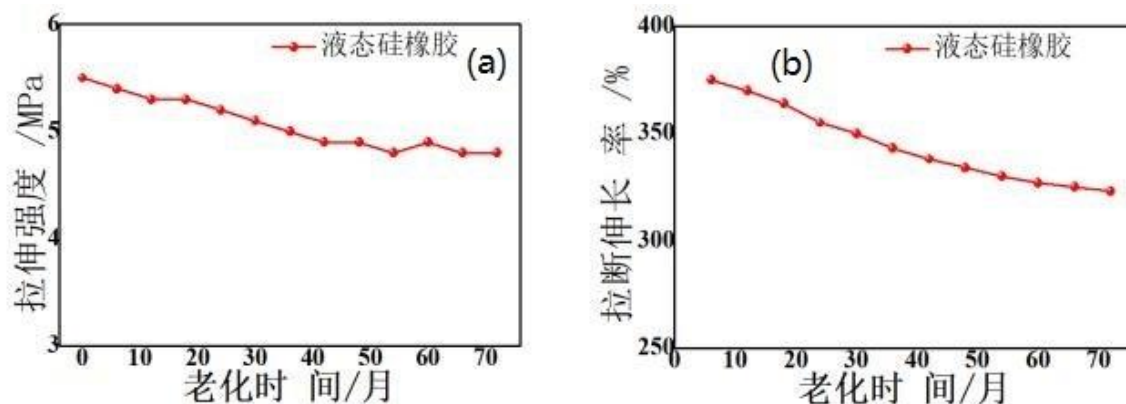


图2 自然老化过程中液态硅橡胶拉伸强度(a)和拉断伸长率(b)的变化

在实际生产中, 制品硫化后热模启动时容易被撕裂, 制品在较严苛的环境中使用时也容易造成撕裂, 影响产品的使用性能, 因此研究硅橡胶老化后的撕裂性能对产品的实际应用具有重大意义。从图 3 可以看出, 液态硅橡胶经过 72 个月的自然老化后, 撕裂强度由 15.0kN/m 下降到 14.5kN/m, 较老化前下降了 3.3%。

从实验结果来看, 经过自然老化后, 液态硅橡胶的机械性能有所下降, 但都在标准所要求的范围之内, 说明液态硅橡胶具有较稳定的机械性能。

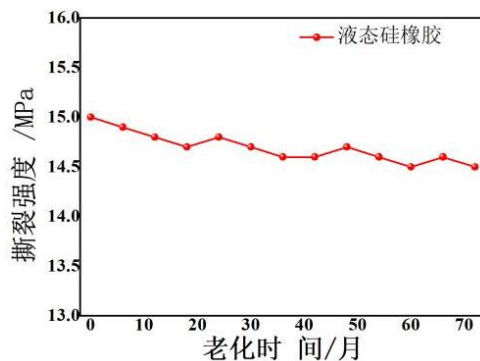


图3 自然老化过程中液态硅橡胶撕裂强度的变化

### 2.1.3 憎水性

本实验采用静态接触角法测量硅橡胶的憎水性，测量仪器是接触角测量仪 JC2000C1 型，测量静态接触角时，控制每次滴液  $4\mu\text{l}$ 。测试结果如图 4 所示：经过 72 个月的自然老化后，液态硅橡胶的静态接触角由  $104^\circ$  下降到  $102^\circ$ 。

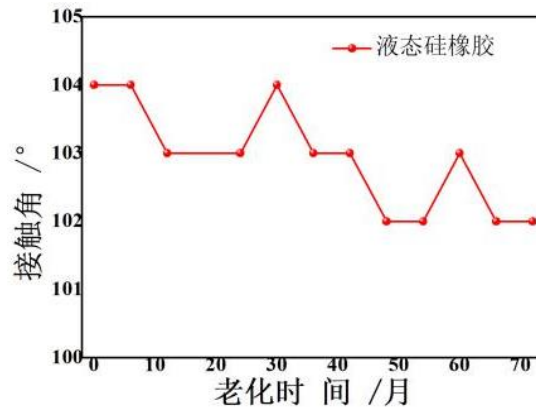


图 4 自然老化过程中液态硅橡胶憎水性的变化

### 2.1.4 电气性能

(1) 体积电阻率/击穿电压：随着老化时间的延长，液态硅橡胶的体积电阻率有所降低，但是经过 72 个月的自然老化后，其体积电阻率仍  $\geq 10^{12}\Omega\cdot\text{m}$ ，说明液态硅橡胶具有较稳定的体积电阻率。同时，实验测试了液态硅橡胶的击穿电压，从表 1 中可以看出，硅橡胶的击穿电压值在较小范围内波动，说明自然老化对液态硅橡胶的最高击穿电压性能没有显著影响。

表 1 自然老化过程中液态硅橡胶的体积电阻率和击穿电压

时间/月	体积电阻率, $\Omega\cdot\text{m}$	击穿电压, KV
0	$6.0 \times 10^{15}$	21.6
6	$4.9 \times 10^{15}$	22.3
12	$3.8 \times 10^{15}$	22.4
18	$2.2 \times 10^{15}$	23.9
24	$1.1 \times 10^{15}$	24.1
30	$9.6 \times 10^{14}$	23.6
36	$8.1 \times 10^{14}$	23.4
42	$7.0 \times 10^{14}$	23.7
48	$6.1 \times 10^{14}$	23.1
54	$5.2 \times 10^{14}$	22.0
60	$4.3 \times 10^{14}$	22.9
66	$3.9 \times 10^{14}$	23.1
72	$3.5 \times 10^{14}$	23.6

(2) 漏电起痕：在高压线路中良好的耐漏电起痕性能可以确保高压线路的长期稳定运行。漏电痕迹是污秽物产生的电导电流和火花放电引起碳化物的堆积和蔓延造成的<sup>[19]</sup>。通过测试自然老化后液态硅橡胶的漏电起痕深度，可以预测硅橡胶在实际运行过程中闪络事故的发生概率。表 2 是液态硅橡胶老化前和自然老化 72 个月后的漏电起痕深度，从表 2 中可以看出，液态硅橡胶老化前和老化后的深度变化不大，说明自然老化对液态硅橡胶的耐漏电起痕影响不大。

表 2 老化前和自然老化 72 个月后液态硅橡胶漏电起痕深度

编号	老化前	老化后
1-1	1.6mm	1.9 mm
1-2	1.7mm	2.0 mm
1-3	1.6mm	1.8 mm
1-4	1.6mm	1.9 mm
1-5	1.8mm	2.1mm

### 3 结论:

(1) 经过 72 个月的自然老化后, 液态硅橡胶的硬度增加了 5%; 拉伸强度下降了 12.7%; 拉断伸长率下降了 14.4%; 撕裂强度下降了 3.3%。说明液态硅橡胶具有较稳定的机械性能。

(2) 经过 72 个月的自然老化后, 液态硅橡胶的静态接触角由  $104^{\circ}$  下降到  $102^{\circ}$ 。说明液态硅橡胶具有较好的憎水性。

(3) 经过 72 个月的自然老化后, 液态硅橡胶体积电阻率仍  $\geq 10^{12} \Omega \cdot m$ ; 击穿电压变化不大; 耐漏电起痕深度  $\leq 2.5mm$ , 说明液态硅橡胶具有稳定的电气性能。

### [参考文献]

- [1] 林修勇. 硅橡胶在电气绝缘方面的应用进展[J]. 特种硅橡胶制品, 2013, 24(5): 7-9.
- [2] 梁曦东, 高岩峰, 王家福. 中国硅橡胶快速发展历程[J]. 高电压技术, 2016, 42(9): 2888-2896.
- [3] 周军, 方永浩, 邓禹. 东南沿海地区复合绝缘子用硅橡胶老化特性研究[J]. 绝缘材料, 2020, 53(3): 14-21.
- [4] 孙进, 谢诗琪, 董翠翠. 硅橡胶复合绝缘子老化评估的研究进展[J]. 石油化工, 2020, 49(2): 202-208.
- [5] 张振全, 付豪, 李耀中. 复合绝缘子伞裙硬化机理研究[J]. 环境技术, 2015, 76(2): 54-58.

作者简介: 陈巧玲 (1992.1-) 女, 河南科技大学, 国教学院、机械设计及自动化、就职与河南平高电气股份有限公司, 技术员, 初级职称。