

# 硅橡胶在高压电缆附件中的应用

张雅春, 赵志强, 周长城, 刘本东

(沈阳古河电缆有限公司, 沈阳 110115)

**摘要:** 简要介绍了高压电缆附件的外绝缘材料的发展历程及分类, 论述了在不同结构高压电缆附件中硅橡胶部件所起的作用, 通过比较电缆终端的外绝缘材料瓷套和硅橡胶复合套管, 以及整体预制式接头的外绝缘材料三元乙丙橡胶与硅橡胶的性能, 指出了硅橡胶作为高压电缆附件外绝缘材料的优点及不足, 以及硅橡胶在高压电缆附件行业的应用前景。

**关键词:** 高压, 电缆附件, 硅橡胶, 复合套管, 预制, 接头, 终端

**中图分类号:** TQ333.93 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-4369(2013)05-0365-03

随着我国经济社会的不断发展和高压电力电缆及附件生产技术的日趋成熟, 高压电力电缆逐渐取代架空线路成为城市内电力输送的主要通道。高压电缆附件技术的发展促进了材料的更新。鉴于客户对高压电缆附件的安装性、维护方便性、安全性等方面的要求, 硅橡胶逐渐取代了其它材料, 成为附件产品中的重要原材料<sup>[1]</sup>。

我国电缆附件的发展经历了从绕包式到金属壳体、瓷套+灌胶, 再到尼龙、塑料、环氧外壳+灌胶(1960~1987年), 再到热缩式、硅橡胶预制式+热缩套管、预制式+冷缩套管(1988~2000年)、硅橡胶全冷缩式。不同电压等级、不同结构形式电缆附件中应力锥所选的绝缘材料不同, 绝缘材料逐渐从瓷套+环氧树脂+三元乙丙橡胶转变为硅橡胶复合套管+硅橡胶+环氧树脂。尤其在近些年, 硅橡胶全冷缩式附件的发展, 大大带动了硅橡胶在高压电缆附件中的应用。在日本, 整体预制式硅橡胶冷缩接头已成功应用到400 kV电压等级; 而在中国, 110 kV硅橡胶整体预制式终端、220 kV硅橡胶整体预制式接头、220 kV硅橡胶复合套管式终端已开始大面积投入电网运行。目前, 就产品品种而言, 中国已基本接近国际水平, 呈现出与国际同步发展的态势。

本文主要论述了在不同结构的高压电缆附件中硅橡胶部件所起的作用, 通过比较电缆终端的外绝缘材料瓷套和硅橡胶复合套管, 以及整体预制式接头的外绝缘材料三元乙丙橡胶与硅橡胶的

性能, 论述硅橡胶作为高压电缆附件外绝缘材料的优缺点。

## 1 高压电缆附件的分类

高压电缆附件主要分为两大类: 终端和接头。其中电缆终端是安装在电缆线路末端、具有一定绝缘和密封性能、用以连接电缆与电网或其它电气设备(如架空线、变压器、GIS开关等)的电缆附件; 接头是安装在电缆与电缆之间、使两根及以上电缆导体联通、并具有一定绝缘和密封性能的电缆附件。高压及超高压交联聚乙烯(XLPE)电缆接头技术难度要高于终端。图1是按照产品功能、结构以及主要部件的原材料进行的高压电缆附件分类。

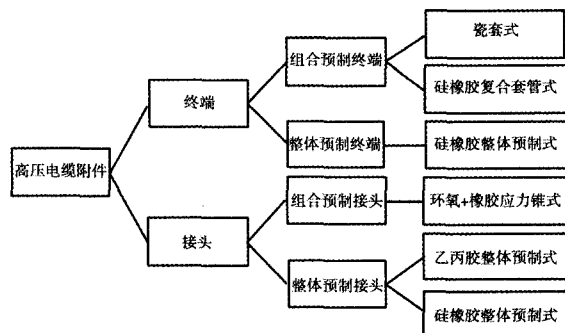


图1 高压电缆附件分类

收稿日期: 2013-05-06。

作者简介: 张雅春(1963—), 女, 工程师, 一直从事高压电缆附件的研究和制造工作。

E-mail: zhangyachun8888@163.com。

从图1可以看出,在最终的6种高压电缆附件中,硅橡胶在3种产品中得到应用,甚至更多。由此可见,硅橡胶在高压电缆附件中起着举足轻重的作用。

## 2 硅橡胶高压电缆附件的性能比较

### 2.1 瓷套与硅橡胶复合套管的比较

交联电缆终端的外绝缘材料主要分为瓷套和硅橡胶复合套管两种,二者的性能比较见表1。

表1 瓷套与硅橡胶复合套管的性能比较

比较项目	瓷套	硅橡胶复合套
抗电晕、抗电蚀	良	良
绝缘性能	良	良
憎水性	良	良
抗湿闪及污闪性	差	良
安全性	差	良
安装便捷性	差	良
维护保养	差	良
耐老化性能	良	良

从表1可以看出,硅橡胶复合套管在抗湿闪及污闪性、安全性、安装便捷性、维护保养方面优于瓷套。硅橡胶套管由于质量轻,方便运输和现场安装;它还具有优良的防爆性。终端内绝缘发生击穿时,终端内部压力剧增,会使瓷套爆炸;瓷套是脆性材料,爆炸后的碎片会殃及周围其它电气设备和人员。从安装及安全性考虑,硅橡胶复合套管会逐渐取代瓷套。

硅橡胶复合套管之所以具有如此优异的性能,是因为硅橡胶具有如下特点。

一是抗电晕、抗电蚀性好。硅橡胶的主链由Si—O键组成, Si上连接有机基团,兼具有机、无机材料的特点;所以,抗电晕、抗电蚀性能特别好。

二是优越的耐热性和耐寒性。由于Si—O键的键能显著高于C—C和C—O键的键能,所以硅橡胶的耐热性大大优于有机材料,可在较高温度下保持高弹性;硅橡胶的耐热性还表现在燃烧时生成不燃的SiO<sub>2</sub>灰烬而自熄,且燃烧时放出的气体主要是CO<sub>2</sub>和水,毒性很低。由于分子间作用力小及主链非常柔顺,因而硅橡胶的耐低温性能也非常优异,在较低的温度下能保持高弹性。而且,在-50~+200℃的温度范围内,硅

橡胶的电性能和物理机械性能基本不变<sup>[4]</sup>。

三是电绝缘性优良。硅橡胶复合套管的爬距可比相同绝缘等级的瓷套的爬距减少1/4;而在同等高度的产品上,复合套管的爬距可比瓷套绝缘爬距增加许多<sup>[5]</sup>。而且,即使燃烧后剩下的灰分(SiO<sub>2</sub>)也能保持一定的绝缘能力。

四是憎水性、抗湿闪及污闪性能好。硅橡胶具有优异的憎水性,吸水性小于0.015%;所以很适合在潮湿环境或沿海盐雾地区使用,且在严重污秽环境下使用不会产生闪络,这比瓷套优越。

五是优异的耐老化、抗紫外线性能。硅橡胶的主链无双键存在,而且Si—O键的键长大约是C—C键键长的一倍半;因此,硅橡胶具有优异的耐老化、抗紫外线性能,大大延长了硅橡胶制品的寿命。美国道康宁公司在佛罗里达和密歇根进行的室外暴晒试验表明,硅橡胶在自由状态下暴晒数年,性能无显著变化<sup>[2]</sup>。

综上所述,由硅橡胶制成的复合套管可在各种气候条件及污秽环境中使用,这是其它材料无法比拟的。硅橡胶是目前最理想、最可靠的高压电缆附件外绝缘材料。

### 2.2 三元乙丙橡胶与硅橡胶的性能比较

表2是三元乙丙橡胶与硅橡胶的性能比较。

表2 三元乙丙橡胶与硅橡胶性能比较<sup>[2]</sup>

特 性	三元乙丙橡胶	硅橡胶
拉断伸长率/%	≥500	≥600
拉伸强度/MPa	5.49~24	4.12~12.35
邵尔A硬度/度	≤65	≤40
最高连续使用温度/℃	80~90	140~180
机械强度	好	差
抗划伤性	好	差
回弹性	中	高
抗压缩变形	良	良~优
抗撕性	中~良	中~良
耐磨性	良~优	差~良
耐热老化性	优	优
撕裂强度/kN·m <sup>-1</sup>	≥15~25	≥15~23
体积电阻率/Ω·cm	≥10 <sup>15</sup>	≥10 <sup>14</sup>
电气强度/MV·m <sup>-1</sup>	25~35	20~25
介质损耗因数/10 <sup>3</sup> Hz	≤0.02	≤0.02
介电常数/10 <sup>3</sup> Hz	2.6~3.0	2.8~3.5

三元乙丙橡胶作为高压电缆附件的绝缘材料已有很长历史了。它属于非极性材料, 故具有优异的电绝缘性能, 尤其是耐电晕和游离放电特性突出; 耐老化性也十分优良, 在空气中 160℃ 下经过 20 天老化后仍保持弹性<sup>[3]</sup>; 但由于硬度大, 造成现场安装难度比较大。而硅橡胶制件具有硬度低、回弹性好、现场安装快捷方便等特点, 目前逐渐被广大用户接受。

从表 2 可以看出, 硅橡胶和三元乙丙橡胶相比, 虽然机械性能稍差; 但拉伸伸长率和回弹性高、硬度较低。硅橡胶整体预制式接头正是利用上述特性制成的。整体预制式接头是在工厂内注射成型, 再经扩径、衬以塑料螺旋支撑管; 现场安装时, 将预扩张件套在经过处理的电缆末端或接头处, 抽出内部支撑的塑料螺旋条, 压紧在电缆绝缘上即可 (安装示意图见图 2)。因为整体预制式接头是在常温下靠弹性回缩, 这就需要橡胶柔软度、回弹性好, 这一点三元乙丙胶无法同硅橡胶相比。

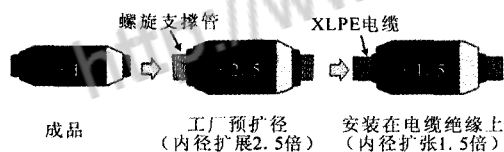


图 2 硅橡胶整体预制式接头安装示意图

当然, 硅橡胶也有一些缺点, 最主要的是抗撕裂性比较差。这就要求在生产制造以及现场安装过程中, 必须保证硅橡胶件不能有任何划伤,

以免附件产品在运行过程中绝缘体逐渐撕裂, 最终导致绝缘体击穿。随着材料科学的发展, 硅橡胶的机械性能也在提升, 如日本厂家使用 LSR 硅橡胶制作的 400 kV 的高压电缆接头已经投入使用。

### 3 结束语

硅橡胶由于优良的电气性能、耐候性、抗老化性、弹性及硬度低等特点在高压电缆附件中逐渐取代了其它外绝缘材料。针对不同结构形式、电压等级的电缆附件, 采用不同形式的硅橡胶, 可提高产品性能、提高现场安装工作效率。电缆附件产品质量的好坏直接关系到输电线能否安全而稳定的运行。硅橡胶的使用促进了产品多样性及安全性, 但也对制造和现场安装过程提出了更高的要求。只有了解材料特性、严格执行相关工艺及作业标准才能保证电网安全而稳定的运行。

### 参考文献

- [1] 应启良. 高压及超高压 XLPE 电缆附件的技术进展[J]. 电线电缆, 2000, 2 (1): 3-12.
- [2] 谢遂志, 刘登祥, 周鸣杰. 橡胶工业手册: 第 1 分册[M]. 化学工业出版社, 1987: 585-594.
- [3] 谷建国, 王世萍, 孙小茜. 电气绝缘材料的性能与发展[J]. 化学工程师, 2002, 91 (4): 54-55.
- [4] 柯德刚. 硅橡胶冷缩式电力电缆附件的应用[J]. 有机硅材料, 2002, 16 (6): 11-13.
- [5] 郭文泉. 硅橡胶复合套管在断路器电容器上得应用[J]. 电力电容器, 2006 (1): 21-22.

## Applications of Silicone Rubber in High Voltage Cable Accessories

ZHANG Ya-chun, ZHAO Zhi-qiang, ZHOU Chang-cheng, LIU Ben-dong  
(Shenyang Furukawa Cable Co., Ltd., Shenyang 110115, Liaoning)

**Abstract:** This article briefly introduced the development and classification of high voltage cable & accessories, and the function of silicone rubber parts in the different structures of high voltage cable accessories. Comparing the performance of the porcelain with silicone composite bushing, EPDM with silicone of one piece joint, it pointed out the advantages and disadvantages of silicone rubber in high voltage cable accessories. The prospect of silicone rubber in the field of high voltage cable accessory was introduced.

**Keywords:** high voltage, cable accessories, silicone rubber, composite bushing, prefabricate, joint, termination



知网查重限时 **7折** 最高可优惠 **120元**

本科定稿，硕博定稿，查重结果与学校一致

立即检测

免费论文查重: <http://www.paperyy.com>

3亿免费文献下载: <http://www.ixueshu.com>

超值论文自动降重: [http://www.paperyy.com/reduce\\_repetition](http://www.paperyy.com/reduce_repetition)

PPT免费模版下载: <http://ppt.ixueshu.com>

---