

特高压直流套管用环氧树脂/皱纹纸复合绝缘体系介电性能的研究

刘 鹏, 金海云, 石惠承, 高乃奎, 彭宗仁

(西安交通大学电力设备电气绝缘国家重点实验室, 陕西 西安 710049)

摘要: 特高压直流套管是制约我国特高压直流输电设备发展的瓶颈。针对特高压直流套管用绝缘材料, 分析观察了直流套管用皱纹纸的显微结构, 制备了纯环氧树脂和环氧树脂/皱纹纸复合绝缘体系的试样, 进行了介电性能测试, 研究了不同试样介电性能随温度的变化规律。为研制特高压直流干式套管提供试验依据。

关键词: 环氧树脂; 皱纹纸; 干式套管; 介电性能

中图分类号: TM215.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)05-0006-03

Investigation on Dielectric Properties of Epoxy/Crepe Paper Composites for Ultra-high Voltage DC Bushing

LIU Peng, JIN Hai-yun, SHI Hui-cheng, GAO Nai-kui, PENG Zhong-ren

(State Key Laboratory of Electrical Insulation and Power Equipment, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Ultra-high voltage DC bushing bottlenecks the development of ultra-high voltage DC power transmission device in China. Epoxy/crepe paper composite is a very important material for ultra-high voltage DC bushing. In this paper, the microstructures of different crepe papers were observed, some pure epoxy and epoxy/crepe paper composites samples were fabricated, the dielectric properties of both samples were measured, and the relationship between dielectric properties and temperature was studied. The results of this research may provide experimental data for the development of the ultra-high voltage DC bushing.

Key words: epoxy; crepe paper; dry-type bushing; dielectric property

0 引言

我国的水力和煤炭资源主要分布在西部, 电力负荷主要在东部。西电东送是我国电力系统的主要格局。输电容量大、距离长使已有的 500 kV 电压等级难以支撑, 必须发展更高电压等级的特高压输变电系统^[1-4]。特高压±800 kV 级直流输电代表着当今世界输变电技术的最高水平, ±800 kV 干式直流套管作为直流输变电工程中大型电力设备换流变压器、平波电抗器的重要组件, 以及阀厅穿墙用套管, 已成为制约我国特高压直流输电发展的瓶颈^[5-8]。在直流套管方面, 代表世界最高技术水平的 ABB 公司、SIEMENS 公司, 已具备生产±600 kV 换流变压器

套管、平波电抗器套管和穿墙套管的技术。其中 ABB 公司主要生产高压直流油浸纸式套管; SIEMENS 公司主要生产高压直流环氧浸渍干式套管, 但技术垄断。在国内已有多家公司在 220 kV 以下交流套管方面进行了研制, 但由于缺乏对环氧树脂、固化剂、套管纸、铝箔及相关辅助材料的介电性能、理化性能、力学性能等关键问题的研究, 在局部放电、介电性能、耐热性能等方面存在难以解决的问题, 严重制约了 800 kV 干式直流套管的研制进程。因此, 研究±800 kV 干式直流套管的关键技术, 无论对中国还是对世界特高压直流输电技术与工程的发展都是一项重大的创举和挑战。

制备了纯环氧树脂和特高压直流套管用环氧树脂/皱纹纸复合绝缘体系的绝缘材料试样, 通过介电

收稿日期: 2009-04-06

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划重大项目“特高压输变电系统开发与示范”课题 32-±800 kV 直流工程套管和大型套管工艺技术研究。

作者简介: 刘 鹏(1979), 男, 博士研究生, 主要从事电力设备绝缘结构优化和复杂场仿真方面的研究。

性能测试和直流套管用皱纹纸的显微结构分析,研究了不同试样介电性能随温度的变化规律,为研制实际工程用特高压直流干式套管提供了理论与实验依据。

1 试验与测量

试验使用的环氧树脂和皱纹纸均为进口产品。试验时,将皱纹纸剪成 90 mm 的正方形试样,皱纹纸每 3 张分为 1 组,按组编号。首先,将皱纹纸试样装入模具中,在 110 °C 下真空干燥 72 h,去除皱纹纸中所含的水分和结晶水。然后将脱好气泡的环氧树脂,在适当的真空度和温度下浇注到模具中。浇注结束后,加热模具使样品固化,降温后可得到试验用皱纹纸复合绝缘体系样品。

显微分析采用日本 Olympus 公司的偏光显微镜,放大倍数为 100 倍;样品的介电性能测量采用德国 Novocontrol Technologies 公司的宽带介电谱测试系统,测试频率为 50 Hz;样品的体积电导率测量采用国产 ZC-26 高阻计。

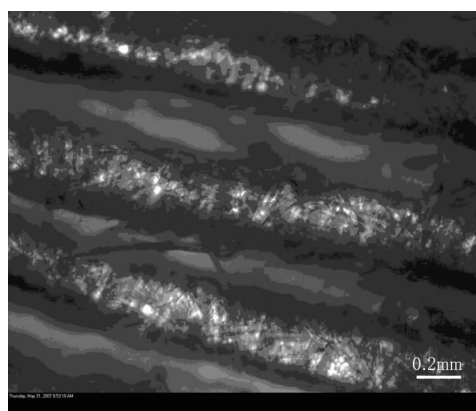
2 试验结果与分析

2.1 皱纹纸显微结构分析

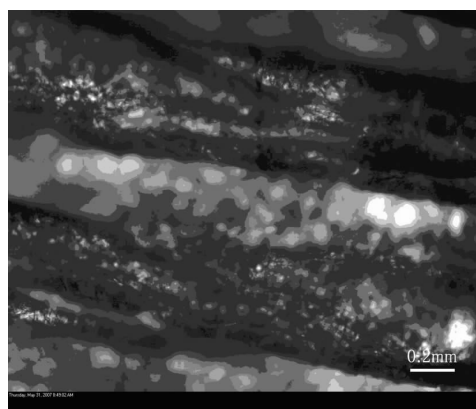
特高压直流套管用皱纹纸的纤维结构与分布不仅影响皱纹纸的力学性能,而且对环氧树脂的浸渗具有重要影响。图 1 为两种不同皱纹纸的纤维结构照片,由图可以看出,1 号皱纹纸的纤维较细且分布均匀,而 2 号皱纹纸的纤维较粗、分叉且分布不均匀。两种皱纹纸的浸渗性能和力学性能测试表明:1 号皱纹绝缘纸的浸渗性能(见表 1)和伸长率(1 号为 100%;2 号为 45%)明显优于 2 号皱纹纸,这也进一步揭示了皱纹纸的纤维结构与分布是影响环氧树脂浸渗性能和力学性能的关键因素。

2.2 复合体系介电常数(ϵ)及介质损耗因子($\tan\delta$)与温度变化的关系

纯环氧树脂和环氧树脂/皱纹纸(以下均采用 1 号皱纹纸)复合体系 ϵ 随温度的变化见图 2。由图 2 可看出,在测量温度范围内,当温度低于 80 °C 时,纯环氧树脂的 ϵ 值变化不大,基本与温度无关,而在温度高于 80 °C 后, ϵ 值随温度升高急剧增大;复合体系的 ϵ 在温度低于 90 °C 时,其值随温度升高缓慢上升,而在温度高于 90 °C 后, ϵ 值随温度升高也急剧增大,但其增大的幅值也较纯环氧树脂小。由于环氧树脂是一种极性高聚物,分子链段转向极化和杂质离子极化与其玻璃化转变温度密切相关。当温度低于玻璃化转变温度时,分子链段被冻结,极化较困



(a)1号皱纹纸



(b)2号皱纹纸

图 1 两种套管皱纹纸纤维结构(放大倍数:100)

表 1 两种皱纹绝缘纸的环氧树脂
浸渗性能比较(温度 60 °C)

试样	1 min 浸渗高度/mm	3 min 浸渗高度/mm	5 min 浸渗高度/mm
1 号	8.3	11.3	13.7
2 号	7.1	9.6	12.4

难,因而 ϵ 较小;当温度高于玻璃化转变温度时,分子链段运动容易,分子链段转向极化和杂质离子极化使得 ϵ 显著增大。在复合体系中,皱纹纸的 ϵ 较环氧树脂略高,同时环氧树脂浸渗皱纹纸的浸渗程度以及皱纹纸对环氧树脂分子链段运动的阻碍作用,使得复合体系的 ϵ 较纯环氧树脂有一定的变化,其值在低温时略有上升;但当温度大于 90 °C 时,其数值与环氧树脂玻璃化转变有关。因此,皱纹纸浸渗性能和环氧树脂玻璃化转变温度的高低对特高压直流套管的性能有重要影响。

纯环氧树脂和复合体系的 $\tan\delta$ 随温度变化见图 3。从图 3 中可看出,在测量温度范围内,两种试样的 $\tan\delta$ 随温度升高的变化趋势基本一致,在温度低于 80 °C 时,两种试样的 $\tan\delta$ 值均小于 7‰,而在温度高于 80 °C 后,两种试样的 $\tan\delta$ 增加与环氧树脂的玻璃化转变过程有关。

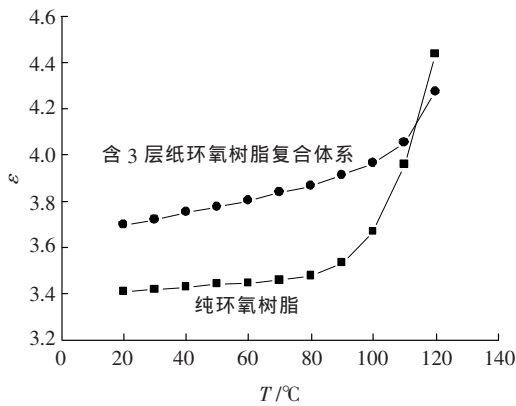


图2 纯环氧树脂和复合体系 ε 随温度的变化

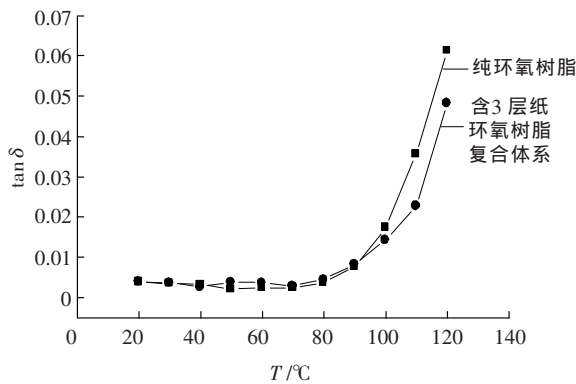


图3 纯环氧树脂和复合体系 tan δ 随温度的变化

图4是研制的样品直流套管的 tan δ 随温度的变化曲线,从图4可看出,样品套管的 tan δ 在测量温度范围内均小于 7‰, 试验研究表明:该环氧树脂/皱纹纸复合体系的介电性能满足特高压直流套管的绝缘要求。

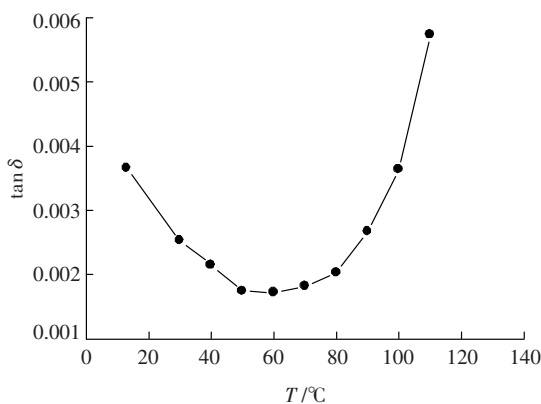


图4 样品套管 tan δ 随温度的变化

2.3 环氧树脂/皱纹纸复合体系体积电导率(γ)随温度的变化

环氧树脂/皱纹纸复合体系 γ 的大小及其与温度变化的关系对特高压直流套管电场分布具有重要影响。纯环氧树脂和复合体系 γ 随温度的变化见

图5。从图5中可看出,在测量温度范围内,两种试样的 γ 随温度升高变化趋势基本一致,在温度低于 90 °C 时,两种试样的 γ 值均较小,而在温度高于 90 °C 后,两种试样的 γ 增加与环氧树脂的玻璃化转变过程有关。

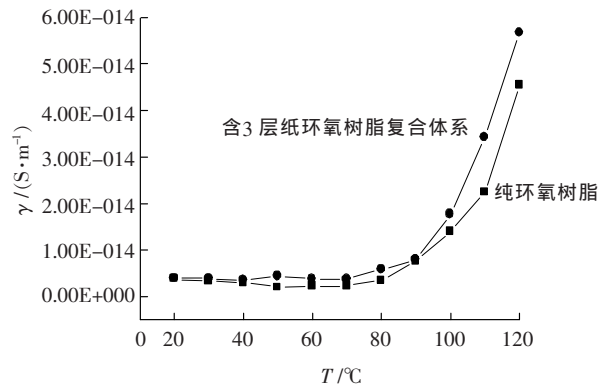


图5 纯环氧树脂和复合体系 γ 随温度的变化

3 结语

(1)皱纹纸的纤维结构与分布对环氧树脂的浸渗具有重要影响,较为纤细及分布均匀的纤维有助于提高皱纹纸的浸渗性与伸长率,从而提高套管的浇注质量。

(2)环氧树脂的玻璃化转变是引起环氧树脂/皱纹纸复合体系介电性能显著增大的主要原因。

(3)复合体系与纯环氧树脂的 ε、tanδ 和 γ 基本相同。研制的环氧树脂/皱纹纸复合体系的介电性能满足特高压工程直流套管用绝缘材料性能的要求。

参考文献:

- [1] 刘振亚.落实科学发展观加快建设坚强的国家电网[N].中国电力报,2005-02-24(1).
- [2] 舒印彪,刘泽洪,高理迎,等.±800 kV 6 400 MW 特高压直流输电工程设计[J].电网技术,2006,30(1):1-8.
- [3] 苏宏田,齐旭,吴云.我国特高压直流输电市场需求研究[J].电网技术,2005,29(24):1-4.
- [4] 袁清云.特高压直流输电技术现状及在我国的应用前景[J].电网技术,2005,29(14):1-3.
- [5] 李峰,李兴源.特高压直流输电相关问题的综述[J].四川电力技术,2006,29(6):13-19.
- [6] 关志成,张福增,王国利,等.我国特高压的特有技术问题[J].电力设备,2006,7(1):1-4.
- [7] 张小勇,贾涛,王韵,等.特高压电器设备绝缘试验技术研究[J].高压电器,2007,43(2):106-108.
- [8] 何智江.发展中的中国高压直流输电事业[J].高压电器,2006,42(6):460-463.