

辐射交联ETFE绝缘电缆高温老化行为研究

吴 琨*

中航西安飞机工业集团股份有限公司, 陕西 710000

摘要: 本文测试了辐射交联ETFE绝缘电缆的机械性能和介质损耗, 研究了电缆的高温老化行为及老化机理, 对比了国内外产品的耐高温老化性能。结果表明, 国内外ETFE电缆的机械性能热老化行为基本一致, 而基于介电性能的热老化性能, 国外电缆优于国内电缆。

关键词: 辐射交联ETFE绝缘电缆; 耐高温电缆; 热老化; 介电损耗

一、引言

辐照交联ETFE绝缘电缆是航空领域广泛应用的耐高温电缆, 可在 $-65^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$ 下长期使用, 具有良好的机械性能、耐磨性、耐介质、阻燃、耐辐照性能^[1], 与聚四氟乙烯/聚酰亚胺绝缘绕包电缆相比, 加工工艺简单, 成本较低, 且柔性好, 绝缘外皮厚度低, 质量轻^[2]。我国在20世纪90年代开始在航空领域使用ETFE电缆, 但生产技术一直被美国Raychem公司垄断, 我国部分厂家基本可生产出满足美国军用标准SAE AS22759的电缆产品^[3], 但由于在原材料和生产加工能力供应方面受限, 与国外产品在可靠性方面尚存在一定的差距^[4]。

飞机电气互联系统用电缆在服役中的高温环境对线缆的寿命影响很大^[5], 尤其是飞机发动机等高温部位, 长期运行温度达到 180°C 以上, 因此需要研究ETFE电缆的高温热老化行为, 目前, 在此方面的研究未见报道。介电损耗频谱能够通过表征电缆绝缘电气性能的变化规律来研究其老化行为^[6]。本文通过测试电缆的机械性能和介电性能, 以及表征电缆老化前后绝缘外皮的化学结构, 研究了辐射交联ETFE绝缘电缆的高温老化行为及老化机理, 对比国内外产品的耐高温老化性能, 对于指导航空航天等高端领域ETFE电缆的使用以及制造技术具有重要意义。

二、实验部分

(一) 样品和老化试验

测试样品选用美国泰科公司生产的CMC-0587型辐照交联ETFE绝缘电缆(A型), 以及国内电缆厂家试制的辐照交联ETFE绝缘电缆(B型), 二者线规都为AWG4。

取一定数量的短电缆样品, 将电缆样品置于 200°C (接近且低于ETFE熔点)的烘箱内, 进行热老化试验, 前10天每5天从烘箱中取出样品, 10天以后, 每10天从烘箱中取出样品, 待样品完全冷却后, 制成绝缘外皮切片进行相关测试。

(二) 机械性能测试

根据GB/T2951.11-2008中规定的标准方法对老化前后的电缆试样进行力学性能测试, 采用INSTRON-5869型万能试验机测试断裂伸长率, 根据标准规定的方法计算出断裂伸长率。根据IEC62582-2-2011中规定的测试方法测试压痕模量, 采用AMS2-13型电缆压痕模量测试仪对不同老化阶段的电缆试样进行测试。

(三) 介电频谱测试

采用真空蒸镀方法在绝缘外皮切片试样的上、下两面制作直径为2 cm的金电极。采用4294A型宽带介电谱仪对不同老化阶段的绝缘材料试样进行介电性能测试, 测试温度为 25°C , 测试频率为100 Hz~1 MHz。

三、结果与分析

(一) 机械性能

图1为两种电缆试样的断裂伸长率与老化时间之间的关系曲线, 从图中可以看出, 辐射交联ETFE绝缘材料经过在 200°C 温度下老化后断裂伸长率均随着热老化时间的增加而明显降低, A型电缆从未老化样品的191%降至老化70天的

*通讯作者: 吴琨, 1987年7月, 男, 汉族, 陕西汉中, 就职于中航西安飞机工业集团股份有限公司, 工程师, 硕士。研究方向: 非金属材料技术。

44%，B型电缆从未老化样品的176%降至老化70天的23%，A型电缆的绝缘外皮断裂伸长率略高于B型电缆，A、B型电缆均在老化50天后断裂伸长率下降速率变缓，力学性能基本失效。因此，热老化行为基本一致。

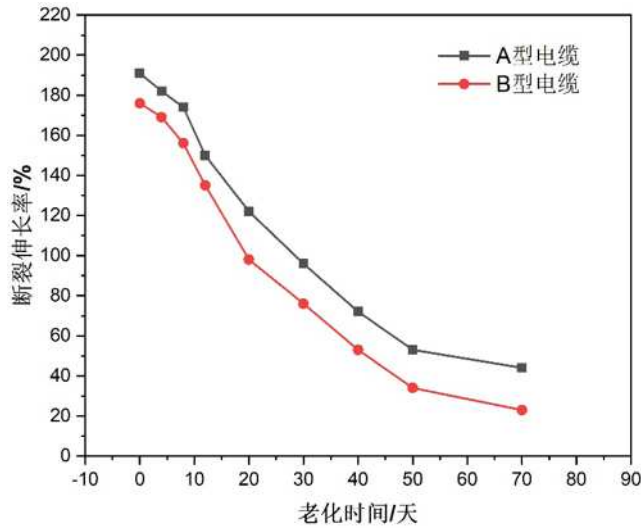


图1 电缆绝缘材料的断裂伸长率与老化时间的关系

Fig.1 Relationship between breaking elongation and aging time of cable insulation materials

图2为两种电缆试样的压痕模量与老化时间之间的关系曲线，从图中可以看出，辐射交联ETFE绝缘材料在200℃的老化温度下压痕模量变化不明显，A型电缆的压痕模量在126~131 N/mm之间波动，约在老化时间为30天时压痕模量达到最大值，B型电缆的压痕模量在128~132 N/mm之间波动，约在老化时间为40天时压痕模量达到最大值。因此，热老化对辐射交联ETFE电缆绝缘材料的模量影响较低。

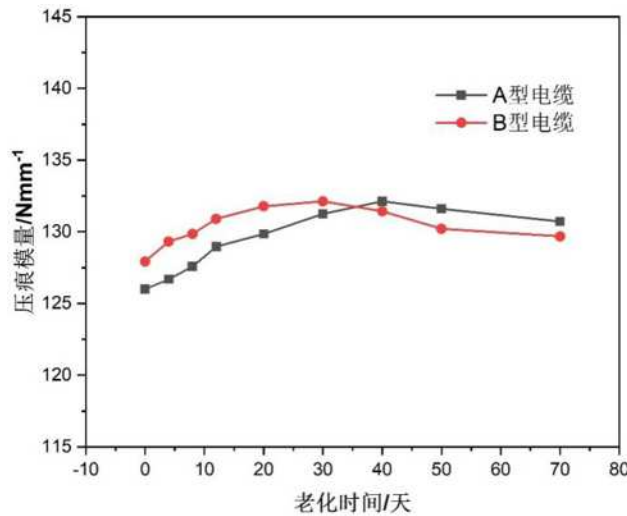


图2 电缆绝缘材料的压痕模量与老化时间的关系

Fig.2 Relationship between indentation modulus and aging time of cable insulation materials

(二) 介质损耗因子

图3为不同老化时间A型电缆绝缘材料的介质损耗因子与频率之间的关系曲线，从图中可以看出，A型电缆ETFE绝缘材料的介质损耗因子随着频率的升高而增大，在频率达到某一范围时达到最大值，未老化的样品在200~800 kHz时损耗因子达到最大值为 6.4×10^{-3} ，频率继续增加损耗因子反而降低，这是由电缆的基材和各类添加剂在介电频谱上的极化特征共同决定的^[6]。与未老化样品相比，热老化的样品损耗因子在低频区域明显提高，在高频区域明显降低，在100~400 kHz时达到峰值，峰值随着老化时间的增加逐渐向低频方向移动，且峰值降低，电缆热老化50天后，介质损耗因子增大明显，峰值超过未老化样品峰值。

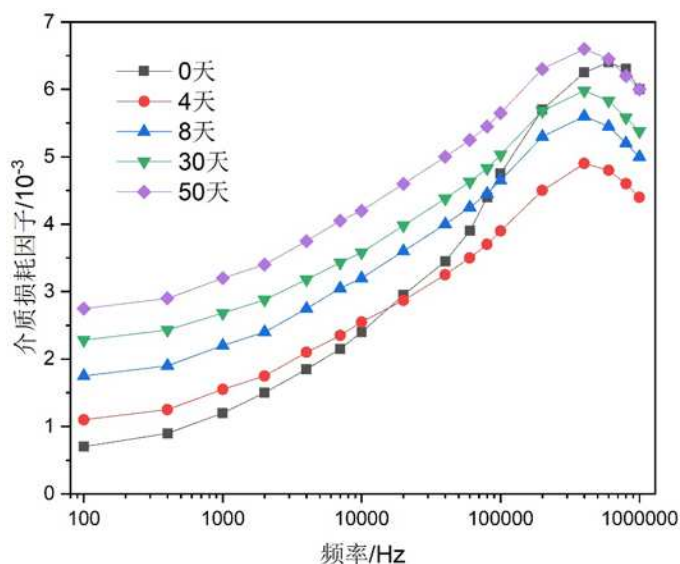


图3 不同老化时间A型电缆绝缘材料介质损耗因子

Fig.3 Dielectric loss factor of type A cable insulation with different aging time

图4为不同老化时间B型电缆绝缘外皮的介质损耗因子与频率之间的关系曲线，从图中可以看出，B型电缆介质损耗因子的热老化行为与A型电缆大致相同。与A型电缆相比，B型电缆的未老化样品的介质损耗因子较高，且峰值位置略向低频移动。因此，电介质早期的劣化往往体现为在较高的老化温度下低频范围的介质损耗因数增大，电缆绝缘外皮热老化30天后，介质损耗因子峰值超过未老化样品峰值。B型电缆耐热性低于A型电缆。

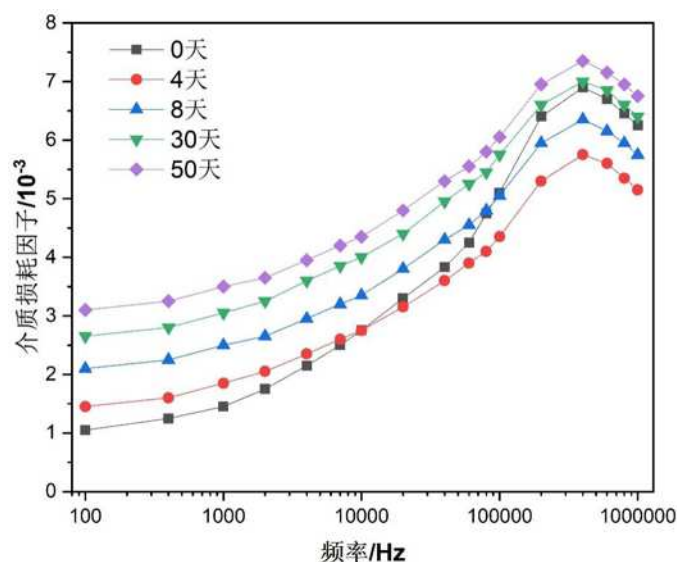


图4 不同老化时间B型电缆绝缘材料介质损耗因子

Fig.4 Dielectric loss factor of type B cable insulation with different aging time

四、结论

本文测试了国内外两种辐照交联ETFE电缆绝缘材料的机械性能、介质损耗因子，并进行了化学结构的表征，研究了其热老化行为及内在机理。结果表明，国内外辐照交联ETFE电缆绝缘材料的热老化导致的绝缘脆化行为基本一致，断裂伸长率下降明显，压痕模量没有明显变化；国外和国内生产电缆分别在热老化50天和30天后，介质损耗因子明显提高。

参考文献：

[1]黄淑贞,张兆文.XETFE绝缘电线电缆的技术现状和国产化探讨[J].电线电缆,2011,4:1-4.

- [2]李小虎,严波.XETFE 绝缘航空航天电线的耐电弧评估[J].电线电缆, 2019,3:36-38.
- [3]SAE.Wire,Electrical,Fluoropolymer-insulated,Copper or Copper alloy:SAE AS22759C:2014[S]. 2004.
- [4]史丛丛,单永东.XETFE电线电缆绝缘料的研究进展[J].绝缘材料, 2015,48(7):9-12.
- [5]Eun-Soo Park. Effects of Electron Beam Irradiation on Properties of ETFE Insulated Electric Wire[J].Iranian Polymer Journal, 2011,20(11):873-885.
- [6]张益舟,龚智明,王雷,汪亮,云浩,郑峥.基于介电性能的电缆热老化及辐照老化检测技术研究[J].绝缘材料, 2017,50(9):62-66.