

导电密封条贮存寿命评价试验方法研究

张钟文^{1,2,3,4}, 王学孔^{1,2,3,4}, 唐庆云^{1,2,3,4}, 钟云龙^{1,2,3,4}, 林婷婷^{1,2,3,4}

(1. 工业和信息化部电子第五研究所, 广东 广州 510610; 2. 广东省电子信息产品可靠性技术重点实验室, 广东 广州 510610; 3. 电子信息产品可靠性分析与测试技术国家地方联合工程中心, 广东 广州 510610; 4. 广东省无人机可靠性与安全性工程技术研究中心, 广东 广州 510610)

摘要:分析导电密封条的贮存环境条件影响及失效机理, 确定贮存期的典型环境条件, 以老化失效机理作为分析对象, 基于时间-温度叠加的加速寿命预测模型, 以单一温度为加速试验条件, 设计导电密封条成品贮存加速寿命试验方法, 可在较短的时间内评价导电密封条的贮存寿命。导电密封条贮存10年的加速寿命试验条件确定为: 温度 100 ℃, 相对湿度 5%, 试验时间 28.3 d。

关键词:导电密封条; 贮存寿命; 试验评价; 失效机理

中图分类号: TQ336.4⁺2; TQ330.7

文献标志码: B

文章编号: 1000-890X(2019)04-0311-03

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2019.04.0311

随着电磁屏蔽技术的发展, 屏蔽机箱的应用越来越广泛。为避免机箱电磁泄漏, 最常用导电橡胶密封条进行密封^[1]。将导电填料(如炭黑、金属粉末、碳纤维等)分散在绝缘的硅橡胶中制得的硅橡胶导电密封条因具有稳定的电阻时间特性、可控制的电阻温度系数及较高的温度界限等优点而备受关注。

导电密封条的贮存寿命对其作用的发挥至关重要。本工作研究硅橡胶导电密封条贮存寿命的评价试验方法。

1 实验

1.1 试验对象及使用条件

某型机箱导电密封条以硅橡胶作为基体, 通过填充铝镀银粉并硫化成型后制成, 具有导电屏蔽作用。其寿命期内贮存寿命占总寿命的90%以上, 因此贮存环境是导致导电密封条性能退化的主要因素。分析其使用环境, 该导电密封条贮存期内不会受到光照、风向、降雨等因素的影响, 因此主要考虑温度、湿度及空气介质的影响。根据安装形式及工

作方式, 导电密封条承受机箱的预紧力。

1.2 失效机理分析

1.2.1 高温及预紧力作用下

硅橡胶在高温下的老化性能与其分子结构和环境条件密切相关, 通常硅橡胶在高温下发生主链降解和侧基氧化反应, 温度对导电密封条的影响主要体现在温度变化对交联橡胶大分子的影响。温度升高, 高分子链运动加剧, 一旦超过化学键的离解能, 就会引起高分子链的热降解或基团脱落, 从而使材料的物理性能发生显著变化, 表现为导电密封条老化^[2-3]。

在预紧力和高温同时作用下, 导电密封条材料中的橡胶分子链长期处于屈服状态, 会产生不可恢复的形变, 降低其抗压缩永久变形能力, 当不可恢复形变不能满足要求时, 会导致导电密封条密封性降低, 失去电磁防护的效能。

1.2.2 湿度及空气介质作用下

空气介质中的氧是造成橡胶老化的主要因素, 从化学反应来看, 橡胶老化实际上是一种氧化反应^[4]。导电密封条导电性能的实现主要依靠其内部填充的铝镀银粉, 由于铝镀银粉分散在整个导电密封条内, 导电密封条表层金属导电颗粒暴露在空气中, 在空气介质和湿度作用下会发生氧化, 造成导电密封条表面电阻增大, 降低其导电性能。

由于导电密封条安装在机箱与壳体中间的缝隙

基金项目: 国家电子信息产品可靠性与环境工程技术研究中心培育项目(2017B090903006)

作者简介: 张钟文(1988—), 男, 山西河津人, 工业和信息化部电子第五研究所工程师, 硕士, 从事可靠性与环境试验技术研究。

E-mail: zhongwen22@126.com

处,大大减少了导电密封条与空气介质的接触。因此,导电密封条贮存期内的失效主要为老化失效。

1.3 试验方法

由于导电密封条工作过程中是通过压缩永久变形来保证密封状态,因此选取压缩永久变形来监测导电密封条胶料的退化趋势。根据GB/T 7759.1—2015《硫化橡胶或热塑性橡胶 压缩永久变形的测定 第1部分:在常温及高温条件下》规定的试验方法,结合导电密封条产品特性,确定本次热老化试验的温度为70,85,100,125和150℃。以压缩永久变形下降到50%作为临界值确定终止条件。试样安装形式如图1所示。

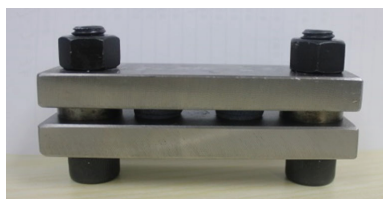


图1 试样安装形式

2 结果与讨论

2.1 贮存期试验条件的确定

为实现对导电密封条贮存期寿命指标的考核,需根据其服役的地理位置确定贮存期典型环境条件。本试验选择相对严酷的高热、高湿的湿热海洋大气环境(以海南省为例)为试验环境进行研究。

海南省自然暴露站某年的月平均最高和最低气温分别为35.6和12.3℃,年平均湿度为85%。为了充分考核样品的贮存寿命,均以每个月最高气温作为停放温度,同时考虑简化试验操作,将月最高气温按春季、夏季、秋季、冬季均一化为31,35,33和29℃四个温度,相对湿度取85%。

2.2 贮存寿命预测模型

橡胶的使用寿命较长,因此必须先进行比使用温度高的模拟加速试验,然后再预测使用温度下的寿命。本工作选取时间-温度叠加的寿命预测模型,根据时温等效原理,即高聚物的同一力学松弛现象可以在较高的温度、较短的时间(或较高的作用频率)观察到,也可以在较低的温度、较长时间内观察到,升高温度与延长观察时间对分子

运动是等效的。

一般来说,橡胶材料的老化性能(y)随时间的变化规律可用下面的经验公式来描述:

$$y = Be^{-Kt^d} \quad (1)$$

式中, $y=1-\varepsilon$ (ε 为压缩永久变形); B 为试验常数; K 为老化速度常数, d^{-1} ; t 为老化时间, d ; α 为待定常数。

K 与温度的关系服从阿累尼乌斯公式:

$$K = Ae^{-E_a/RT} \quad (2)$$

式中, A 为频率因子, d^{-1} ; T 为老化试验温度, K ; E_a 为表观活化能, $J \cdot mol^{-1}$; R 为气体常数,即为8.314 $J \cdot (K \cdot mol)^{-1}$ 。

试验结束后根据GJB 92—1986《热空气老化法测定硫化橡胶贮存性能导则》推荐的数据处理方法分析并确定压缩永久变形随老化时间的变化关系,最终确定的主要参数值为: $A = 2.03 \times 10^5 d^{-1}$, $E_a = 43486 J \cdot mol^{-1}$, $B = 1.069$, $\alpha = 0.641$ 。

2.3 贮存加速寿命试验

根据贮存期环境条件作用下导电密封条失效机理分析,导电密封条贮存寿命期内经历温度、湿度、空气介质和预紧力的共同作用。

为了简化加速寿命试验的实施,选取温度作为单一加速试验条件。自然环境条件下,一年期不同贮存温度的 K 和对应的持续时间(t)见表1。根据表1数据计算得到等效至试验温度100℃的等效 K 值($\sum Kt$)为2.6903,所需试验时间为2.83d。

表1 不同温度下的 K 和 t

温度/℃	K/d^{-1}	t/d
31	6.915×10^{-3}	89
35	8.644×10^{-3}	92
33	7.737×10^{-3}	92
29	6.171×10^{-3}	92
100	1.662×10^{-1}	

对于湿度、空气介质和预紧力分别作以下考虑和假设:

(1)通过模拟导电密封条的实际安装状态保持预紧力不变;

(2)空气介质近似认为试验场地的空气含氧量与贮存环境一致;

(3)对于湿度而言,为方便湿空气热力过程的分析计算,工程上引入了相对湿度(φ)的定义^[4],用

湿空气中水蒸气分压力(p_v)与同一温度、同一总压力下饱和湿空气中水蒸气分压力(p_s)的比值来表述:

$$\varphi = p_v / p_s \quad (3)$$

p_s 可由下述经验公式计算:

$$p_s = \frac{2}{15} \exp[18.5916 - \frac{3991.11}{\theta + 233.84}] \quad (4)$$

式中, θ 为温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

根据理想气体的分压力定律,加速寿命试验中保持空气中水蒸气含量不变,即 p_v 保持不变,由此得到不同贮存温度下,相对湿度85%条件等效到100 $^{\circ}\text{C}$ 时对应的相对湿度见表2。为方便试验操作,统一取等效后的相对湿度为5%。

综上所述,以贮存期指标10年为例,导电密封条成品贮存加速寿命试验条件可确定为:温度100 $^{\circ}\text{C}$,相对湿度5%,试验时间28.3 d。

3 结语

通过开展导电密封条成品的贮存加速寿命试验,实现了快速评价导电密封条贮存寿命的目

表2 不同温度下的相对湿度等效值

温度/ $^{\circ}\text{C}$	p_s	相对湿度/%	p_v	等效至100 $^{\circ}\text{C}$ 的相对湿度/%
31	4.512	85	3.835	3.7
35	5.646	85	4.799	4.7
33	5.052	85	4.294	4.2
29	4.023	85	3.419	3.4
100	101.65			

的。以老化失效机理为分析对象,以单一温度作为加速试验条件,基于时温等效原理,得出了模型参数的确定方法和加速试验方案,可为同类产品开展加速贮存寿命试验提供参考。

参考文献:

- [1] 张洁,冯圣玉. 导电硅橡胶理论研究进展[J]. 功能高分子学报, 2002(15):87-90.
- [2] 张生鹏,李晓钢. 某橡胶减振垫加速贮存老化试验及寿命预测[J]. 装备环境工程,2010,7(5):24-28.
- [3] 武卫莉,王骏. 碳纤维/硅橡胶复合材料的制备[J]. 橡胶工业, 2017,64(2):94-98.
- [4] 沈维道,蒋智敏,童钧耕. 工程热力学(3版)[M]. 北京:高等教育出版社,2001.

收稿日期:2018-11-09

•国内外动态•

大陆推出VikingContact 7新一代冬季轮胎
美国《现代轮胎经销商》(www.moderntiredealer.com)2019年2月5日报道:

大陆轮胎美洲公司以VikingContact 7冬季轮胎(见图1)替代现有WinterContact SI冬季轮胎。

该公司称,新定向轮胎的特点是北欧(Nordic)



图1 VikingContact 7冬季轮胎

胎面胶,其采用活性白炭黑以提供“超级”湿地抓着性能,并以菜籽油(加拿大油菜生产)为活性剂,使胎面胶在极端寒冷的条件下保持弹性;智能花纹设计具有高效花纹沟网络,可减小在湿地泥泞路面上的水滑;桥式互锁花纹块提供“完美的”雪地抓着和稳定性。

胎面花纹还具有大量3D刀槽花纹,使啃雪边缘保持“高效”,并在覆冰雪路面提供“强有力的”牵引和制动。

VikingContact 7冬季轮胎从145/65R15 72T到235/35R20 97T XL现有91个规格,而相比之下,WinterContact SI轮胎仅有38个规格。

VikingContact 7冬季轮胎具有三峰山雪花标志,其91个规格分列如下:15,16,17,18,19,20英寸(1英寸=25.4 mm)产品分别有11,16,26,20,12,6个规格。

(吴秀兰摘译 赵敏校)