

橡胶压缩永久变形性能影响因素分析及研究

崔 俞^{1,2} 冯圣玉¹ 杜华太² 庞明磊²

(1. 山东大学化工学院, 济南 250010; 2. 中国兵器工业集团第五三研究所, 济南 250031)



摘要: 通过不同形状橡胶试样在不同压缩率、不同介质中的压缩永久变形试验, 发现在相同条件下, 橡胶试样的截面直径或厚度越大, 其压缩永久变形就越小; 初始压缩率设计越小, 压缩永久变形值达到 100% 所经历的时间就会越短, 越易失去弹性; 橡胶压缩永久变形在燃油中的变化远远大于在热空气中的变化。橡胶压缩永久变形与其形状、压缩率及介质密切相关, 评价橡胶制品压缩永久变形性能需充分考虑制品的具体规格、装配空间、使用环境等因素的影响。

关键词: 氟硅橡胶; 压缩永久变形; 形状; 压缩率; 热空气; 燃油; 评价

Analysis and Research of Influence Factors of Rubber Compression Set

Cui Yu¹ Feng Shengyu¹ Du Huatai² Pang Minglei²

(1. College of Chemical Industry, Shandong University, Jinan 250010; 2. CNGC Institute 53, Jinan 250031)

Abstract: Through compression set test of different shape rubber samples under different compression ratio in different medium, finds that in the same conditions the thicker the thickness of sample, the greater the compression set; the smaller the initial compression ratio, the shorter the time which the compression set reached 100% used; the change of compression set in the fuel is far greater than in the hot air. Rubber compression set and its shape, compression ratio and medium are closely related. Full consideration should be given to specifications, assembly space, service environment and the other factors to evaluate compression set of rubber.

Key words: fluorosilicone rubber; compression set; shape; compression ratio; hot air; fuel oil; evaluation

1 引言

压缩永久变形是指橡胶材料及制品在长时间压缩状态下产生的永久性变形, 是衡量密封材料及制品使用性能最直观的重要参数, 也是评价其贮存老化性能的考核指标^[1]。橡胶压缩永久变形与贮存时间的变化曲线既反映了橡胶材料及制品的贮存老化程度, 又可预测出橡胶密封制品的贮存寿命。但通常使用的橡胶压缩永久变形标准试样一般为厚度 10mm 及 12.5mm 的圆柱形试样, 其压缩永久变形性能变化相对于密封圈等小型密封制品而言变化较慢, 并不能真实反映橡胶制品的实际压缩永久变形性能及贮存寿命, 因此, 评

价橡胶制品压缩永久变形性能需充分考虑制品的具体规格、装配空间、使用环境等因素的影响。

本文选用氟硅橡胶 O 形圈、小圆柱和大圆柱三种不同形状的橡胶试样, 初始压缩率设计为 10%、15% 及 25%, 分别在热空气及燃油中进行压缩永久变形试验, 研究了不同形状、初始压缩率及介质对橡胶压缩永久变形性能的影响, 并分析了其影响原因。

2 试验

2.1 试验原材料

试样胶料采用氟硅橡胶, 配方如下: 氟硅橡胶,

作者简介: 崔俞 (1981-), 工程师, 高分子材料与工程专业; 研究方向: 橡胶材料及制品技术研究。

收稿日期: 2014-05-19

FE2803; 氧化镁、氢氧化钙、白炭黑、过氧化二异丙苯、促进剂等。

2.2 试验试样

试样为氟硅橡胶 O 形圈, 规格为 $\Phi 14\text{mm} \times 2.65\text{mm}$; 氟硅橡胶小圆柱, 规格为 $\Phi 10\text{mm} \times 10\text{mm}$; 氟硅橡胶大圆柱, 规格为 $\Phi 29\text{mm} \times 12.5\text{mm}$ 。试样均为新压制、无气泡、无缺陷。

2.3 试验主要仪器与设备

XK-160 开炼机; TY-100 真空硫化机; ZB-101 老化箱, 温度控制精度为 1.0°C ; 橡胶数显测厚仪, 测量精度 0.01mm 。

2.4 试验方法

热空气老化试验按照 GB/T 3512—2001《硫化橡胶或热塑性橡胶 热空气加速老化和耐热试验》进行; 耐燃油试验按照 GB/T 1690—2006《硫化橡胶或热塑性橡胶耐液体试验方法》进行; O 形圈试样压缩永久变形参照 GB/T 5720—2008《O 形橡胶密封圈试验方法》测量; 小圆柱试样压缩永久变形按照 GB/T 1683—1981《硫化橡胶恒定形变压缩永久变形的测定方法》测量; 大圆柱试样压缩永久变形按照 GB/T 7759—1996《硫化橡胶、热塑性橡胶 常温、高温和低温下压缩永久变形测定》测量^[2]。

2.5 试验条件

试验介质为空气、燃油; 压缩永久变形初始压缩率设计为 10%、15%、25%, O 形圈压缩永久变形夹具限位块为 2.38mm、2.25mm、1.99mm, 小圆柱压缩永久变形夹具限位块为 9mm、8.5mm、7.5mm, 大圆柱压缩永久变形夹具限位块为 11.25mm、10.63mm、9.37mm; 试验温度为 120°C ; 试验取样安排为 1d、2d、3d、5d、7d、10d、15d、17d、20d、25d、30d、35d、40d、45d、50d、60d、70d、80d、90d、110d、130d、145d、160d、175d; 试验数量为每种形状试样均选取截面直径或厚度均一的 5 个相同样件。

2.6 压缩永久变形计算



图 1 压缩永久变形工装及试样实物图

压缩永久变形工装及试样实物图如图 1 所示。

试样压缩永久变形 (ε) 按下式计算^[3]:

$$\varepsilon = \frac{d_0 - d_1}{d_0 - d_s} \times 100\% \quad (1)$$

式中: d_0 ——试样的原始厚度, mm; d_1 ——撤除压缩力恢复规定时间后试样的厚度, mm; d_s ——限位块厚度, mm。

3 试验结果与讨论

3.1 形状对橡胶压缩永久变形的影响

橡胶制品的压缩永久变形与其形状、截面大小密切相关, 不同形状、截面的橡胶试样其压缩永久变形变化规律并不相同, 如图 2、图 3 所示。

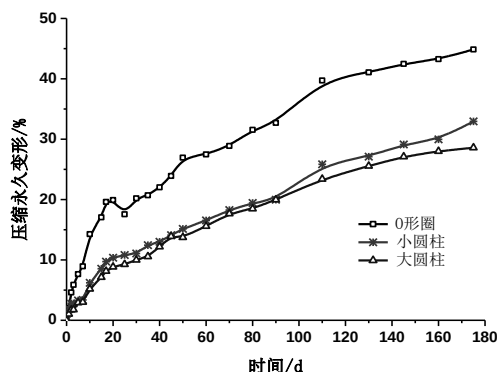


图 2 不同形状试样在热空气中压缩永久变形随时间的变化曲线

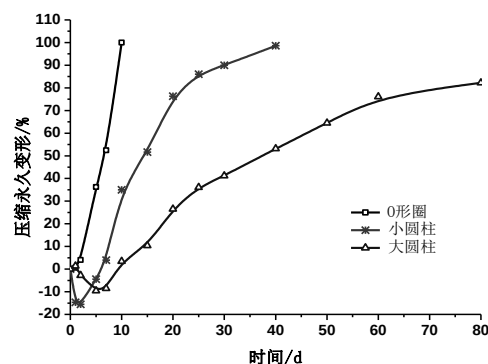


图 3 不同形状试样在燃油中压缩永久变形随时间的变化曲线

图 2、图 3 为橡胶 O 形圈、小圆柱、大圆柱在热空气及燃油中压缩永久变形随试验时间的变化曲线。由图 1、图 2 可以看出橡胶试样在热空气或燃油中, 其压缩永久变形均随试验时间的延长而增大, 但形状

不同的试样压缩永久变形增大幅度不同。其中 O 形圈试样增大幅度最大,尤其是在燃油中, O 形圈在试验进行到 10d 时,其压缩永久变形已增大到最大值 100%,其次是小圆柱试样,大圆柱试样压缩永久变形变化最为缓慢,在热空气中,小圆柱试样与大圆柱试样变化较为相近,但相同试验时间下小圆柱压缩永久变形较大。由此可以看出,相同条件下,无论在热空气中还是燃油中,橡胶试样的截面直径或厚度越小,其压缩永久变形越大。这主要是在相同条件下,试样在压缩状态下承受的应力相同,其截面厚度越大,抵抗外力的能力就越强,其永久变形就会越小,反之,截面厚度越小,抵抗外力的能力就越弱,其永久变形就会越大。

因此,在评价橡胶制品时不能简单地遵照国标,利用标准试样(圆柱)得出的结论对橡胶制品压缩永久变形性能或使用性能进行评价。实际制品规格往往与标准试样存在较大差异,尤其是部分橡胶密封制品,尺寸规格较小,有的断面直径只有 1mm 左右,其在压缩状态下永久变形变化较大,易丧失密封性能,如若简单地采用橡胶标准试样试验数据评价这种小型密封制品,就会对其压缩永久变形性能及使用性能造成误判,从而导致密封部位出现泄露,造成严重后果。

3.2 初始压缩率对橡胶压缩永久变形的影响

图 4、图 5 是初始压缩率为 10%、15%、25% 时, O 形圈试样在热空气、燃油中压缩永久变形随试验时间的变化曲线。

由图 4、图 5 可以看出 O 形圈在热空气或燃油中,相同温度、相同试验时间点下,初始压缩率为 10% 时的压缩永久变形高于初始压缩率为 15% 时的压缩永久变形,而初始压缩率 15% 的压缩永久变形高于压缩率 25% 的压缩永久变形,不同的只是在空气中变化幅度比在燃油中的变化幅度小。这主要是因为压缩率越小,试样被压缩后的高度就会越大,如厚度为 10mm 小圆柱,压缩率为 10% 时,表明试样被压缩到 9mm;压缩率为 25% 时,表明试样被压缩到 7.5mm;试样从 10mm 压缩到 9mm 要比试样从 10mm 压缩到 7.5mm 经历的时间短。因此,在相同条件下,初始压缩率设计越小,橡胶就越易被压缩到规定高度,橡胶的压缩永久变形达到 100% 所经历的时间就会越短,从而越易失去弹性。

因此,对于橡胶制品尤其是密封制品而言,初始压缩率的设计尤为重要,直接关系到橡胶制品的使用寿命。压缩率设计过小,橡胶制品压缩永久变形就会

较大,越易失去弹性,丧失密封能力;而压缩率设计过大,接触压力就会较大,橡胶制品易被压坏,造成制品掉块、损坏,从而丧失使用性能。根据以往经验,橡胶密封制品初始压缩率通常设计在 10%~30% 之间,根据其具体使用工况确定具体初始压缩率值。

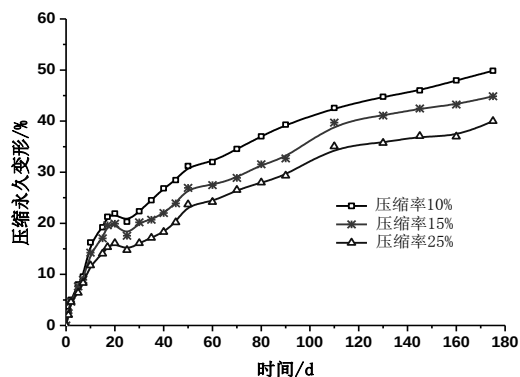


图 4 不同初始压缩率下 O 形圈在热空气中压缩永久变形随时间的变化曲线

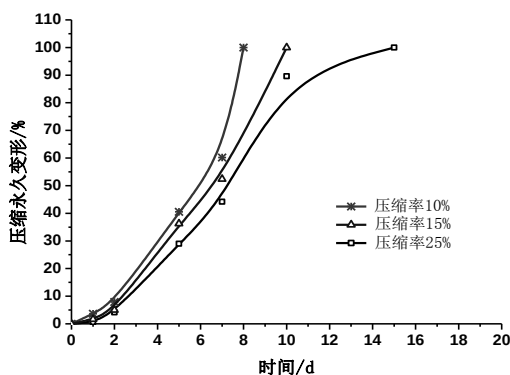


图 5 不同初始压缩率下 O 形圈在燃油中压缩永久变形随时间的变化曲线

3.3 介质对橡胶压缩永久变形的影响

橡胶 O 形圈、小圆柱、大圆柱在热空气及燃油中的压缩永久变形随时间的变化曲线见图 6、图 7、图 8。

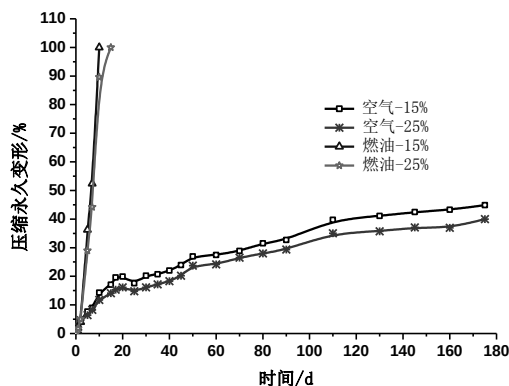


图 6 在热空气及燃油中 O 形圈压缩永久变形随时间的变化曲线

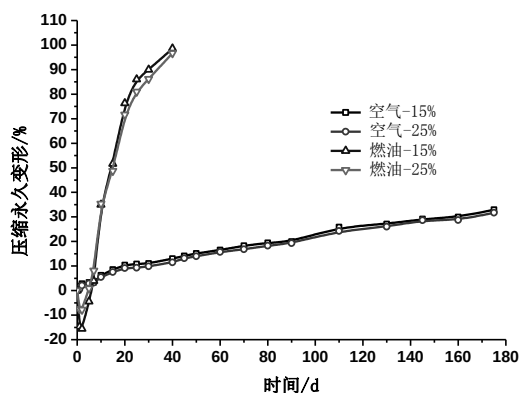


图7 在热空气及燃油中小圆柱压缩永久变形随时间的变化曲线

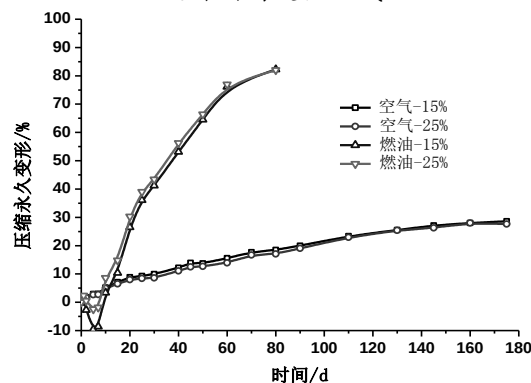


图8 在热空气及燃油中大圆柱压缩永久变形随时间的变化曲线

从图6、图7、图8可以看出,无论是橡胶O形圈、小圆柱还是大圆柱,在相同温度、相同时间点下,燃油中的压缩永久变形远远大于热空气中的压缩永久变形。尤其是O形圈试样,如图6所示,无论压缩率为15%还是25%,在燃油中试验进行到20d时,O形圈压缩永久变形达到100%,压缩永久变形曲线几乎呈直线上升;而在热空气中,O形圈压缩永久变形变化较为缓慢,试验进行到175d时,压缩永久变形才达到40%~44%左右;图7、图8中,小圆柱、大圆柱在燃油中,试验初期试样的压缩永久变形均为负值,之后快速增大,分别在40d、80d左右,压缩永久变形达到100%,上述现象说明介质对橡胶的压缩永久变形性能影响较为明显。

橡胶在热空气中压缩永久变形增大,是由于热和氧的作用会使橡胶分子发生氧化反应,从而使分子链发生降解,导致压缩永久变形增大,这种氧化作用的大小取决于橡胶种类,本试验选用的氟硅橡胶抗氧化能力较强,老化性能较为优异,因此在空气中试样的压缩永久变形变化较为缓慢。氟硅橡胶相比于硅橡胶

其耐油性能较好,但在燃油中也会出现溶胀现象,小圆柱、大圆柱试样在试验初期压缩永久变形值为负值就是由于试样在燃油中发生溶胀,且溶胀的影响大于其压缩力的影响,因此压缩永久变形出现负值;之后由于在高温下燃油中的成分与氟硅橡胶分子反应,使得橡胶分子链发生降解,从而导致试样压缩永久变形迅速增大。而对于耐油性比较好的丁腈橡胶等而言,与油介质中的成分反应能力较弱,而油介质又能有效阻断空气中的氧与橡胶分子发生氧化反应,因此其在油介质中的压缩永久变形要小于在热空气中的压缩永久变形。因此橡胶制品要根据具体使用环境、介质等的不同正确选用橡胶种类。

4 结束语

a. 相同条件下,橡胶试样的截面直径或厚度就大,其压缩永久变形就越小。在评价橡胶制品压缩永久变形性能时,不能简单地遵照国标,利用标准试样(圆柱)得出的结论进行评价,要根据制品实际规格进行试验及评价。

b. 相同条件下,初始压缩率设计越小,橡胶试样就越易被压缩到规定高度,其压缩永久变形达到100%所经历的时间就会越短,从而越易失去弹性。橡胶制品在应用过程中要根据具体使用条件、工况设计初始压缩率。

c. 氟硅橡胶试样,无论是O形圈、小圆柱还是大圆柱,在相同条件下,燃油中的压缩永久变形远远大于热空气中的压缩永久变形。不同橡胶在热空气及油介质中的压缩永久变形变化规律不同。

由以上试验结论可以看出,橡胶的压缩永久变形与其形状、压缩率及介质密切相关,不能简单地遵照国标,利用标准试样(圆柱)得出的结论对橡胶制品压缩永久变形性能或使用性能进行评价,要根据橡胶制品的具体规格、装配空间、使用环境等开展试验,进行制品压缩永久变形性能评价。

参考文献

- 1 张录平,李晖,等.特种氟橡胶耐油介质老化性能研究[J].世界橡胶工业,2011,38(1):27~30
- 2 陈跃如,刘亚青,等.硅橡胶密封材料热氧老化研究[J].弹性体,2011,21(5):6~9
- 3 崔俞,冯圣玉,等.某特种硅橡胶密封圈撞击贮存寿命评估[J].航天制造技术,2013,30(6):16~20