橡胶密封件加速老化试验影响因素分析及验证

党晓勇[1]，赵英[1]，庞明磊[2]，刘福城[1]
（1. 北京动力机械研究所，北京 100074；2. 中国兵器工业集团第五三研究所，济南 250031）

摘要：通用的橡胶材料加速老化试验方法未考虑初始压缩率、密封形式、密封介质等工程应用的细节因素。通过一系列对比试验，初步掌握了上述各因素对橡胶密封件加速老化试验结论的影响程度，为工程实践中科学评估装备贮存寿命提供了依据。

关键词：发动机；橡胶密封件；加速老化；压缩率
DOI：10.7643/issn.1672-9242.2013.04.002
中图分类号：TJ760.89　　**文献标识码：**A
文章编号：1672－9242(2013)04－0005-04

Analysis and Verification of Influencing Factors of Accelerated Aging Tests for Rubber Seals

DANG Xiao-yong[1], *ZHAO Ying*[1], *PANG Ming-lei*[2], *LIU Fu-cheng*[1]
(1. Beijing Power Machinery Institute, Beijing 100074, China;
2. No. 53 Research Institute of CNGC, Jinan 250031, China)

Abstract: The common accelerated aging methods for rubber materials do not consider the detailed factors of engineering applications, such as intial compressing rate, types of seal, seal medium and so on. By means of a series of comparison testing, effects of the above mentioned detailed factors on tests of rubber accelerated aging were obtained. The purpose was to provide scientific basis for assessing storage life of equipments with rubber seal material.

Key words: engine; rubber seal; accelerated aging; compressing rate

根据工程经验，橡胶密封件是制约导弹发动机贮存性能最薄弱的环节之一，橡胶密封件贮存性能是发动机贮存性能研究的重点。通常采用加速贮存试验来预估橡胶密封件的贮存寿命，国内通用的加速贮存试验方法均是以标准橡胶试样为试验对象进行加速贮存试验，用于评定贮存寿命的老化指标临界值多采用经验值或简单的模拟试验获得。加速贮存试验件状态和考核试验条件与真实使用状态存在一定差异，导致贮存寿命评定结果存在一定的不可信度。通过对以往橡胶材料加速贮存试验数据的整理，发现同类胶料的加速贮存结论差异较大，可能存在5～10 a的差异，分析原因，与试验方法、产品使用

收稿日期：2013-02-29
作者简介：党晓勇(1979—)，男，陕西凤翔人，工程师，主要研究方向为装备环境适应性和贮存性研究。

工况、失效判据设定均有关系[1]。

国内目前通用的橡胶加速贮存试验标准方法有GJB 92—86《热空气老化法测定硫化橡胶贮存性能导则》[2]和HG/T 3087—2001《静密封橡胶零件贮存期快速测定方法》[3]。这两部标准均参照前苏联ГОСТ 9.035—74《固定连接密封零件贮存期的快速测定方法》，利用时温等效的原理，通过经验公式进行橡胶密封制品贮存性能预测。标准中规定了试验原理、试验条件、简要的试验步骤以及试验数据处理方法。在实际的试验中，却发现标准方法与实际密封结构存在以下差异。

1）标准试样与橡胶产品实际形状存在差异。标准试样为圆柱形胶棒，而橡胶密封件多为O形橡胶圈，两者形状差别可能会对试验结论产生影响[4]，需要试验研究。国外比较先进的橡胶密封件加速试验方法是选用正式产品——橡胶密封件作为试验对象，尽量模拟密封介质、密封形式、初始压缩率（密封件贮存过程中压缩率逐渐衰减，定义开始装配的压缩率为初始压缩率）、考核环境试验等真实使用工况，以获取置信度更高的试验结论。

2）对于将压缩永久变形作为老化指标的加速试验，试验方法按照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》执行。该方法只是对比评价各种胶料耐压缩永久变形的能力，初始压缩率作为一个定值，而实际密封结构中初始压缩率呈现一定分布态势，需要考虑不同初始压缩率下橡胶产品的贮存寿命[5]。

文中将重点对上述未定的影响因素开展试验研究，对标准方法进行拓展，为科学、准确评价橡胶密封件的贮存寿命提供试验方法。

1 试验

1.1 试验设备

试验设备采用上海试验机厂和上海林频试验机厂生产的401，402，LP系列老化试验箱。

1.2 试验件及试验介质

试验件采用某型发动机配套的O形橡胶圈，胶料种类包括F275-31氟橡胶和G402-31氟硅橡胶。试验介质包括3号喷气燃料和特种高温润滑油。

1.3 老化条件及试验工装

燃油介质中老化温度为110 ℃，润滑油温度中老化温度为130 ℃。

1.4 试验项目

1）对比不同初始压缩率对压缩永久变形影响。

2）对比不同密封形式对压缩永久变形影响。

3）对比不同封存介质对压缩永久变形影响。

1.5 性能测试

老化性能指标选取压缩永久变形，以O形橡胶圈的小径截面直径为测量对象，不定期测量小径直径的变化情况。端面密封形式受拆装影响较小，可以重复测量，测量完毕后将试样重新装回工装，然后置于老化试验箱继续老化；径向密封形式受拆装影响较大，测量完毕后退出试验。测试环境条件：温度（23 ± 2）℃，相对湿度（50 ± 5）%。

2 结果与讨论

2.1 不同初始压缩率对压缩永久变形影响

分别选取两种橡胶材料的典型O形橡胶圈（Φ 9.55 × Φ 1.9）分别按照15%，25%和30%初始压缩率进行加速老化试验。

2.1.1 F275-31氟橡胶试验数据

F275-31氟橡胶老化参数变化曲线如图1所示，经过60 d老化后，不同初始压缩率试样压缩率降低幅度相当，三组曲线均比较平稳，在相当长的时间内未出现交叉点。换算成压缩永久变形，15%初始压缩率的试验变化明显快于其它两组试验，更容易达到压缩永久变形临界值，密封失效。因此分析得出，初始压缩率低，贮存寿命将较短。

2.1.2 G402-31氟硅橡胶试验数据

G402-31氟硅橡胶老化参数变化曲线如图2所示，G402-31氟硅橡胶不同初始压缩率老化后压缩率变化趋势与F275-31氟橡胶相似，即初始压缩率低，贮存寿命将较短。从图2中还可以看出，G402-31氟硅橡胶老化过程中，产生压缩永久变形

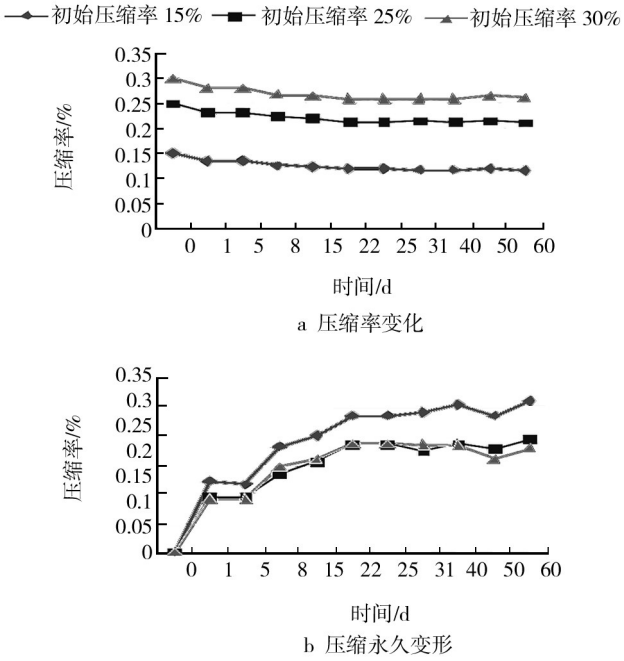

图1　F275-31氟橡胶不同初始压缩率老化后性能变化曲线

Fig. 1　Performance changing curves of fluoro rubber F275-31 with different initial compression ratio after aging

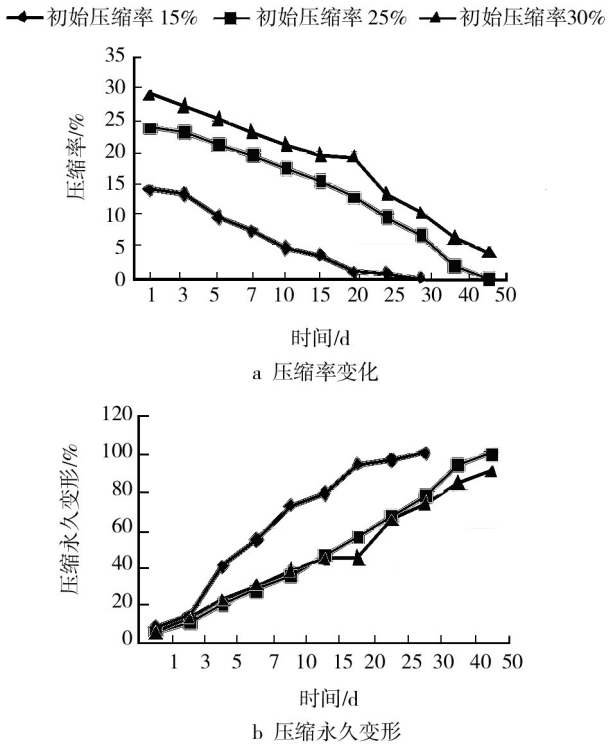

图2　G402-31氟硅橡胶不同初始压缩率老化后性能变化曲线

Fig. 2　Performance changing curves of fluoro-silicon rubber G402-31 with different initial compression ratio after aging

的程度严重,老化50 d后已接近100%,压缩率降至0,相比F275-31氟橡胶,其贮存寿命较短。

综上所述,30%初始压缩率的密封结构贮存寿命最长,25%初始压缩率次之,15%初始压缩率最短。得到最长贮存寿命对于评估装备贮存寿命无实际意义;25%初始压缩率代表了较多压缩状态,其贮存寿命很重要;15%初始压缩率出现的概率较低,但其较短的贮存寿命可能暴露装备贮存薄弱环节。

2.2　不同密封形式对压缩永久变形影响

选用O形橡胶圈(ϕ9.55 mm × ϕ1.9 mm)分别以端面密封和径向密封形式进行加速老化试验,试验时间为60 d。

2.2.1　F275-31氟橡胶试验数据

F275-31氟橡胶老化参数变化曲线如图3a所示,两种密封形式的压缩率衰减程度基本相当,端面密封的压缩率降低程度略大于径向密封的降低程度,端面密封的贮存寿命应略短于或等于径向密封的贮存寿命。

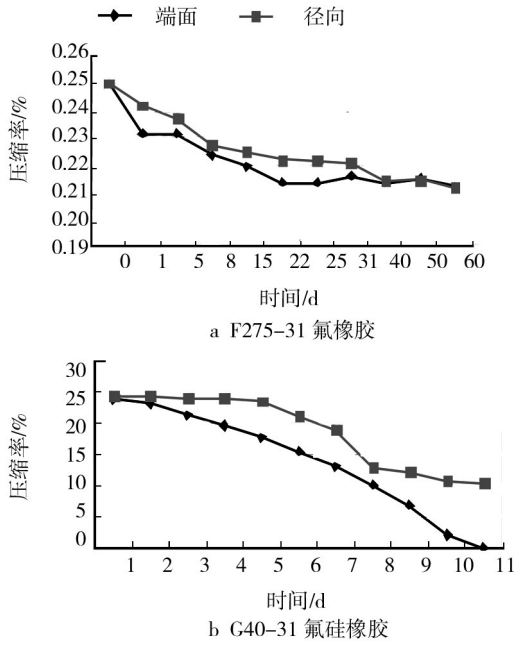

图3　两种密封形式压缩率变化曲线

Fig. 3　Compression ratio curve of two types of seals

2.2.2　G402-31氟硅橡胶试验数据

G402-31氟硅橡胶老化参数变化曲线如图3b所示,端面密封形式的压缩率衰减程度快于径向密封形式。G402-31氟硅橡胶硬度较F275-31氟橡胶偏

低，容易产生压缩永久变形[6]，而径向密封重复测量对压缩状态有较大影响，G402-31氟硅橡胶尤为明显，导致径向密封老化试验未能准确表征橡胶圈的性能退化真实状态。G402-31氟硅橡胶端面密封的压缩率降低程度大于径向密封的降低程度，端面密封的贮存寿命应短于径向密封的贮存寿命。

综上所述，端面密封的压缩率降低程度大于或等于径向密封的降低程度，端面密封的贮存寿命短于或等于径向密封的贮存寿命。

2.3 对比不同封存介质对压缩永久变形影响

选用O形橡胶圈（ϕ9.55 mm × ϕ1.9 mm）分别在润滑油和燃油介质中进行加速老化试验，试验时间为50 d。

2.3.1 F275-31氟橡胶试验数据

F275-31氟橡胶老化参数变化曲线如图4a所示，在润滑油、燃油、空气介质中老化后，压缩率的衰减程度基本相当，这是由于氟橡胶具有良好的耐介质性所决定的。F275-31氟橡胶耐介质性优异，在燃油、滑油和空气介质中的贮存寿命基本相当，可以选用较易实现的介质进行加速老化试验。

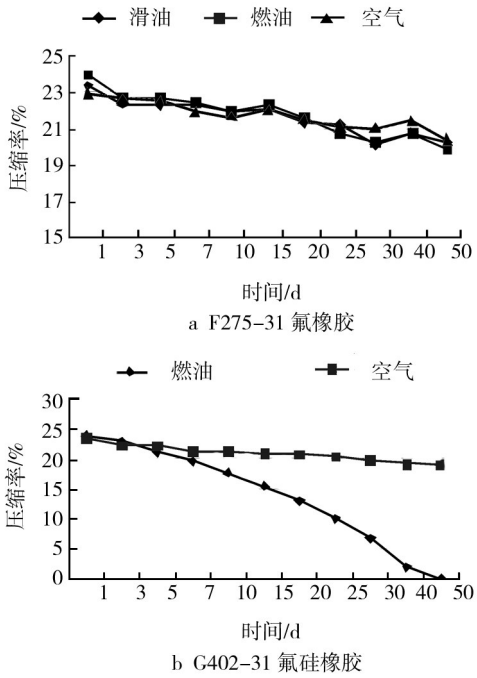

图4 橡胶在不同介质中老化曲线

Fig. 4 Aging curves in different media

2.3.2 G402-31氟硅橡胶试验数据

G402-31氟硅橡胶老化参数变化曲线如图4b所示，在燃油介质中老化后，压缩率的衰减程度明显快于空气介质，这是由氟硅橡胶的耐燃油介质性较差所决定的[7]。G402-31氟硅橡胶在燃油介质中的贮存寿命明显短于空气介质，因此应以燃油介质作为加速老化试验介质，空气介质可不予考虑。

3 结论

橡胶密封件加速老化试验中，初始压缩率、密封形式、密封介质等因素都对最终的评估结果有一定程度影响，通过对比分析，得出以下结论。

1）25%初始压缩率可以代表大多数压缩状态，贮存寿命结论可信度较高；15%初始压缩率出现的概率较低，但其贮存寿命较短，能暴露装备贮存薄弱环节。在条件允许的情况下，应安排15%和25%初始压缩率两种状态加速贮存试验。

2）端面密封和径向密封的贮存寿命基本相当，采用端面密封形式进行加速贮存试验，既可得到较可信的贮存寿命结论，又节省试验费用。

3）氟橡胶（包含氟醚橡胶）的耐介质性能优异，密封介质对其贮存寿命影响较小，可以忽略；硅橡胶（包含氟硅橡胶）的耐介质性能一般，应重点考虑在密封介质中的贮存寿命。

参考文献：

[1] 冯连胜. 固体发动机O形橡胶圈密封性能试验研究[J]. 固体火箭技术，1993，3：90—90.

[2] GJB 92—86，热空气老化法测定硫化橡胶贮存性能导则[S].

[3] HG/T 3087—2001，静密封橡胶零件贮存期快速测定方法[S].

[4] 杨红卫，曹元礼. 试样对硫化橡胶压缩永久变形的影响[J]. 特种橡胶制品，2009，30(5)：46—47.

[5] 邵天敏. 压缩永久变形对O形圈密封性能的影响[J]. 润滑与密封，1997(4)：47—49.

[6] 周漪，周堃，马宏艳，等. 某弹用硅橡胶密封材料贮存寿命预测[J]. 装备环境工程，2010，7(5)：65—68.

[7] 解红雨，吴勋，刘春梅，等. 硅橡胶密封件随弹贮存老化分析及寿命预估[J]. 装备环境工程，2011，8(6)：15—18.