

固体火箭发动机密封材料(F108)回弹特性研究

闫平义 苏胜良

(内蒙动力机械研究所 呼和浩特 010010)

文 摘 设计了橡胶回弹特性的测试实验方法,对固体火箭发动机用氟橡胶圈密封材料(F108)回弹特性进行了研究。分析了固体火箭发动机实际使用条件下材料压缩状态、材料截面直径以及环境温度对橡胶圈回弹特性的影响,给出了部分回弹速度函数,为固体火箭发动机密封圈的设计提供了参考数据。

关键词 固体火箭发动机,密封材料,氟橡胶,回弹特性

Study of Resilience Characteristics of SRM Sealing Material

Yan Pingyi Su Shengliang

(Dynamic Machinery Institute of Inner Mongolia Huhhot 010010)

Abstract Test method of resilience characteristics of rubber was designed, and the resilience characteristics of SRM (Solid Rocket Motor) sealing material, fluororubber (F108) were studied according to the designed method. Vital influencing elements of resilience characteristics of fluororubber, such as squeeze state, section diameter, and surrounding temperature were analyzed. Some relevant resilience speed functions were presented here too as reference for further design of SRM seals.

Key words SRM, Sealing material, Fluororubber, Resilience characteristic

1 前言

固体火箭发动机(简称发动机)的大部分密封圈都使用氟橡胶密封材料制作,随着发动机设计技术及可靠性要求的进一步提高,密封材料专用性能的评估,成为发动机技术进步的主要组成部分。橡胶圈的回弹特性是表征材料动态密封效能的一个主要专用性能指标。橡胶的回弹特性是指橡胶材料受压达到熵平衡状态后弹性内能自由释放所表现出的变形特性。氟橡胶材料跟其它有机高分子材料一样,具有较典型的粘弹性能,其参量的变化要经历一定的时间历程。影响氟橡胶圈回弹特性的因素主要有:(1)橡胶圈的截面尺寸;(2)橡胶圈的压缩状态(如压缩量和压缩时间);(3)回弹过程的环境温度;(4)橡胶的自身性能(如结晶过程、交联程度、填料种

类与用量、分子量及分布)。密封材料回弹速度的数值变化,直接影响发动机的可靠性。由于橡胶材料的变形粘弹阻滞,有可能在发动机点火增压的瞬间,橡胶圈的回弹速度不能及时响应结构件的变形,产生密封圈与结构件的脱离间隙,或者由于这种变形粘弹阻滞,使变形后密封圈的回复力在一定时间内远小于最初的压紧力而造成密封结构失效,这就要求必须清楚地认识和掌握密封圈在密封结构中的变形特性以及对这种变形特性有较大影响的因素,这样才能使设计参数远离上述失效模式的范围。美国挑战者号航天飞机失事后,氟橡胶圈的回弹特性成为众所瞩目的焦点^[1],对O形圈的研究得到广泛的重视,我国也对O形圈的相关性能进行了研究^[2,3],但直接针对其回弹特性的研究尚未见报道。我国固

收稿日期:2001-08-26

闫平义,1961年出生,高级工程师,主要从事复合材料的研究工作

体火箭发动机试车失败与密封材料回弹特性相关的事例也曾发生过,某型发动机试车失败后,有关专家指出可能是因为氟橡胶低温回弹速度不够导致穿火失效,因而对发动机密封材料进行回弹特性研究具有十分重要的现实意义。

美国在挑战者号航天飞机失事后,对于橡胶材料的回弹特性进行了专门的研究,其方法主要是采用振动响应的方式测定不同温度下的回弹加速度,积分得到回弹速度,并且侧重于失效模式的探索及材料的筛选。本课题设计了专用的测试装置,以直接的时间—间隙(即回弹位移,因本测试系统由限位机构提供一定的间隙作为相应时间的回弹位移,所以本文把回弹位移统称为间隙)关系测定回弹速度。我国现用发动机密封材料之一是 F108 氟橡胶,本文主要对材料截面尺寸、材料压缩量以及环境温度对 F108 氟橡胶回弹速度的影响进行了测试和研究。

2 试验

2.1 原材料

F108 氟橡胶由西北橡胶工业制品研究所提供,其性能见表 1。

表 1 F108 氟橡胶性能

Tab. 1 Properties of F108

拉伸强度	伸长率	永久变形	硬度	脆性温度
/MPa	/%	/%	(邵氏)	/
17	210	5	75	-20

2.2 设备及原理

测试设备基本原理如图 1 所示。

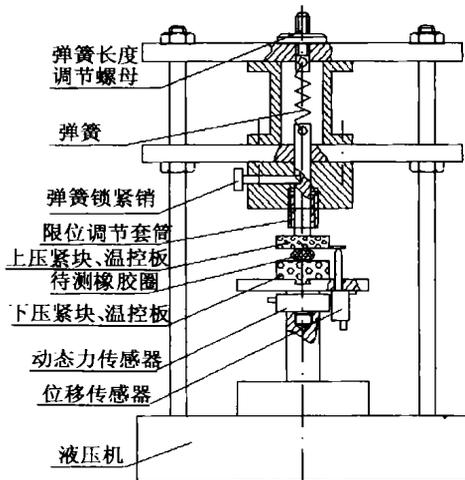


图 1 测试机械原理简图

Fig. 1 Mechanical diagram of test system

测试过程中由下压紧块提供压力,使橡胶件达到规定的压紧状态,待熵平衡后打开限位机构。由于弹簧的变形速度大于橡胶的回弹速度,所以可以在弹簧机构打开的瞬间上压紧块与橡胶件脱离,这时弹簧将上压紧块提升到一个规定位置,橡胶件在运动一段时间后再次与上压紧块接触。在这一运动过程中,由接触开关记录两个事件的时间间隔,由此可以测得相应间隙橡胶件自由回弹所需时间。

2.3 试验

在 F108 氟橡胶胶条上截取长度为 10 mm 的胶条试样,对不同压缩量(30%、50%)、不同截面直径(5.5 mm、4.0 mm、3.0 mm)以及不同环境温度(-10、0、15、50)下的试样测试回弹时间—间隙数据。

3 结果与讨论

3.1 试样压缩率对回弹速度的影响

在室温($t = 25$)条件下,取直径为 5.5 mm 的试样胶条,测定 F108 氟橡胶在 30% 和 50% 压缩率下的时间—间隙数据,见图 2。

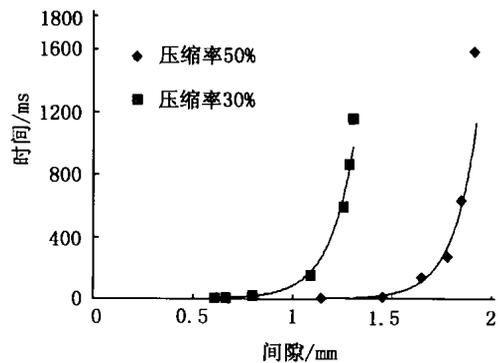


图 2 不同压缩率试件的间隙与时间的关系曲线

Fig. 2 Displacement vs time curves of samples with different rates

对图 2 数据进行线性回归分析得到回弹函数见表 2。

表 2 试样在不同压缩率下的回弹函数*

Tab. 2 Resilience functions of samples with different compression ratios

压缩率/ %	$h = f(t)$	$v = f(t)$
30	$h = 1.321t^{0.12}$	$v = 0.159t^{-0.88}$
50	$h = 2.283t^{0.20}$	$v = 0.457t^{-0.8}$

* h 为回弹间隙; t 为回弹时间; v 为回弹速度。

由表 2 可知压缩率对时间与间隙函数的系数和

指数影响都很大,对时间与速度函数的系数影响更大,但对时间与速度函数的指数影响非常小。

3.2 试样直径对回弹速度的影响

在室温条件下 ($t = 25$),取压缩率 40%,测试密封圈截面直径与回弹速度的关系见图 3。

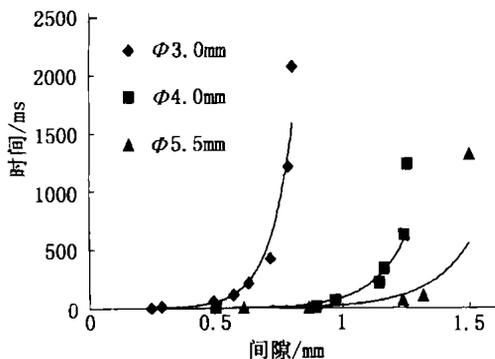


图 3 不同压缩截面直径试样的间隙与时间的关系曲线

Fig. 3 Displacement vs time cure of samples with different section diameter

将图 3 数据作线性回归分析得到表 3 所示回弹函数。

表 3 不同截面直径试样的回弹函数

Tab. 3 Resilience functions of samples with different section diameter

直径/mm	$h = f(t)$	$v = f(t)$
5.5	$h = 1.646t^{0.15}$	$v = 0.247t^{-0.85}$
4.0	$h = 1.066t^{0.144}$	$v = 0.154t^{-0.86}$
3.0	$h = 0.712t^{0.15}$	$v = 0.107t^{-0.85}$

由图 3 及表 3 可知:

(1) 三条曲线的位置表示了其速度的差异:在相同环境温度和压缩率下,相同的 h/d (间隙直径比),直径越大,回弹所用时间越短。

(2) 直径对函数的指数影响较小,但对函数的系数影响较明显。

3.3 环境温度对回弹速度的影响

试样直径为 5.5 mm,取压缩率 40%,测定时间与间隙数据的关系见图 4。

在回弹间隙很小的一段回弹里,橡胶回弹速度的加速度很小,几乎可以忽略,这样回弹速度在这一小的回弹间隙里可以认为是一个常量,我们把这一

间隙段叫做回弹初始线性段。回弹初始线性段越长,橡胶的回弹性能就越好。

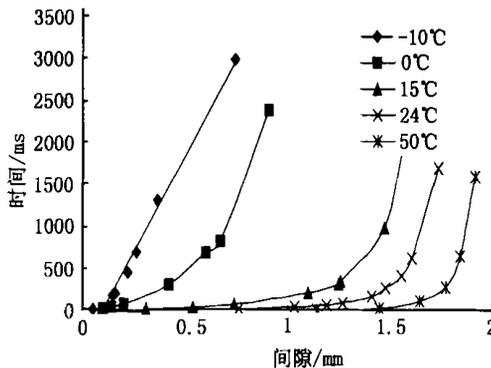


图 4 不同环境温度下试样的间隙与时间的关系曲线

Fig. 4 Displacement vs time cure of samples under various temperatures

由图 4 可知:

(1) 回弹初始线性段随温度增加而显著增加,50 时,这一线性段长度约为 1.45 mm,而 0 时,几乎没有回弹初始线性段。

(2) 在 0 时,橡胶的最大回弹速度为 5 mm/s。

(3) -10 时,试样已经表现为脆性。

4 结论

(1) 在相同环境温度和压缩率下,相同的 h/d ,直径越大,回弹时间越短。

(2) 影响回弹函数指数的因素主要是环境温度与试样压缩率,而试样直径对回弹函数的指数影响可以忽略。环境温度、试样压缩率和试样直径对回弹函数的系数影响都较明显。

(3) F108 氟橡胶回弹速度对低温环境反应剧烈,最大安全间隙应主要依据发动机实际使用条件下的最低温度以及试样直径、压缩率和变形粘弹阻滞给出。

参考文献

- Report of the Presidential Committee on the Space Shuttle Accident. Washington D C. 1986
- 荣先成. 固体火箭发动机用橡胶制品加速老化试验研究. 推进技术, 1992;1:90
- 冯连胜. 固体发动机 O 形橡胶圈密封性能试验研究. 固体火箭技术, 1993;3:90