

改性双基推进剂老化燃烧 性能实验研究^{*}

刘佩进 何国强 李江

(西北工业大学航天工程学院, 西安, 710072)

高鸣

(海军驻西安长峰机电研究所代表室, 西安, 710061)

摘要: 用X射线实时荧屏分析系统对人工加速老化的改性双基推进剂的燃烧性能进行试验研究, 结果表明, 人工加速老化对双基推进剂的燃速影响不大, 但对推进剂的装药结构性能有较大影响。试验发现在70℃的老化温度下24天后, 推进剂的结构破坏导致异常燃烧现象明显, 辅助试验表明, 60℃90天可以认为是该种推进剂的安全界限。

主题词: 改性双基推进剂, 人工老化, 燃烧性能, X射线荧光分析

分类号: V512.2

INVESTIGATION ON COMBUSTION PROPERTY OF ACCELERATED-AGING CMDB SOLID PROPELLANT

Liu Peijin He Guoqiang Li Jiang

(Coll. of Astronautics, Northwestern Polytechnical Univ., Xi'an, 710072)

Gao Ming

(Navy Representative Office in Xi'an Chang Feng Electro-Mechanical Inst. Xi'an, 710061)

Abstract: RTR system was used to investigate the combustion property of accelerated-aging CMDB solid propellant. The results indicate that aging process has no significant effects on burning rate, but can cause configuration damage. Experiments show that when aging temperature is over 70℃ and duration is over 24 days, abnormal combustion is obvious. Other additional experiments show that the aging temperature of 60℃ and the duration of 90 days could be considered as failure criteria of such CMDB solid propellant.

Subject terms: Modified double base propellant, Artificial aging, Combustion performance, X-ray fluorescence analysis

1 引言

在长期贮存或采用热加速老化时, 随着老化温度和老化时间的增加, 由于药柱中粘合剂与某些添加剂的热降解和机械降解, 以及粘合剂与氧化剂的相互作用、化学分解、蒸发、分

^{*} 收稿日期: 1998-07-25, 修回日期: 1998-12-21

子键的裂变和界面脱湿,药柱内部会产生气体和空穴。当气体生成率大于扩散率时,气体将进一步聚集,使药柱中气压增加,促使药柱中产生裂纹,空穴进一步增加甚至导致裂纹扩张。当气压和空穴率浓度达到某一临界状态时,将引起药柱中空穴率迅速增加,最后导致药柱破坏失效,这是一些改性双基推进剂和复合推进剂重要失效模式之一。本文利用 X 射线高速实时荧屏分析技术(RTR),研究人工老化改性双基推进剂的燃烧性能,找出使推进剂出现燃烧异常的临界点,为确定发动机的服役寿命提供了试验依据。

2 实验方案

用 X 射线测量固体推进剂的燃烧性能,设计一种实验发动机,既能模拟真实发动机的工作状况,又要便于观察,成为本项实验研究的一项关键环节。

在初期可行性实验研究中采用了圆筒形钢壳体发动机,由于钢对 X 射线的衰减比较大,所以造成图像非常模糊,很难辨别。另外,圆筒形壳体在 X 射线投影面上厚度分布不均匀,造成 RTR 图像背景灰度分布不均匀,远离中心线的区域较暗,靠近中心线的区域较亮,这样,影响了对燃面的识别。从理论上讲,用数字减影的图像处理方法可以消除背景的影响,即拍摄点火前的发动机图像,作为背景图像,将对象图像的像素矩阵同相同背景条件下的背景图像的像素矩阵相减,得到的图像即消除背景后的图像。但是,在进行数字减影的同时,两幅图像的随机噪声有可能得到加强,另外,发动机工作过程中的振动及燃面推移而引起的图像对应点的错位可能引入新的“噪声”,这些“噪声”会加强对燃面信息的干扰。基于以上的经验和分析,实验发动机设计的结构特点是:

(1) 发动机采用矩形结构,这样得到的图像背景比较均匀。矩形发动机本体选用钢, X 射线所穿过的两个面选用对 X 射线衰减较小的铝合金作盖板。盖板与本体之间用螺栓连接,并采用耐高压的石棉橡胶垫片密封。由于铝合金不耐高温,在铝合金盖板内面放置了很薄的高温合金作内衬。其中密封问题是设计的关键环节,经过多次的实验总结发现,使用 3mm 厚的石棉垫可以很好地解决密封问题;

(2) 发动机燃烧室的一侧放置几种经过不同老化处理的长方形双基推进剂,推进剂药块除燃面外其余五个面进行包覆;

(3) 为了增强试验发动机的通用性,喷管设计成可拆卸的,这样便于根据实验的要求更换喷管;

(4) 为了增强发动机的安全性,设计了安全爆破阀,当燃烧室压力超过极限值时,爆破膜打开,泄掉燃烧室的压力。

实验发动机的结构示意图如图 1 所示。

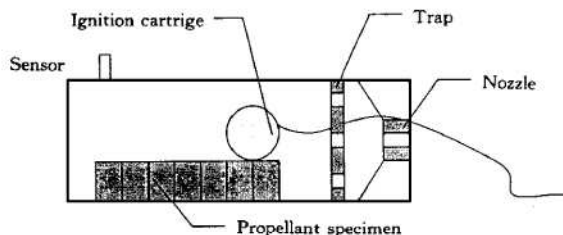


Fig. 1 Schematic diagram of test motor

3 实验现象及分析

实验时采用几种经过不同老化温度和时间的推进剂组合,以观测和比较经过不同老化处理的推进剂的燃烧状况。从动态播放的图像可以很清楚地看到推进剂表面的退移过程和燃烧的异常现象(见图 2)。

从图像中可以看出， $t=-7.248\text{ s}$ 时，点火药包被点燃。 $t=-6.992\text{ s}$ 时（经过 0.256 s ），在 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下经 24 天高温老化的推进剂药块开始出现异常。 $t=-6.864\text{ s}$ 时（经过 0.384 s ），该药块烧完。用数字图像处理法得出的平均燃速如表 1 所示（正常的燃速为 15.892 mm/s ）。

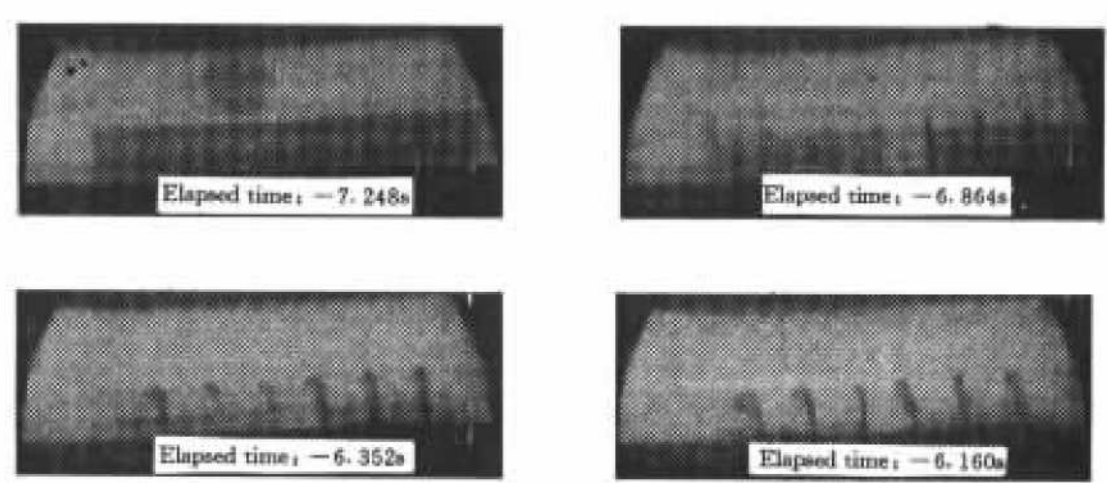


Fig. 2 Image of combustion of propellant under various aging process

Table 1 Burning rate obtained by image processing

Duration	70 °C 12 d	70 °C18 d	70 °C24 d	70 °C30 d	60 °C60 d	60 °C75 d
Burning rate/（mm/s）	14.957 3	14.957 3	Break	14.022 4	14.957 3	14.957 3

表中的燃速数据是取 0.96 s 内的平均值，该时间段内的平均压强为 9.77 MPa 。在其它的试验中 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下老化 30 天的药块也出现破碎现象。从药块的表面可以看出，加速老化的温度对推进剂结构影响很大。在 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度下人工老化 6 天的推进剂药块表面已有明显的裂纹， $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下 90 天推进剂药块表面没有明显的裂纹存在。

双基推进剂老化过程中主要是硝化纤维素中硝酸酯醛— NO_2 的分解。随着 NO_2 的分解表现为能量略有减小。因此分解程度可以通过爆热的变化进行评定，为此我们对双基推进剂的爆热进行了测量，测定结果如表 2 所示。

Table 2 Explosion heat

Duration	Explosion heat/（J/g）	Duration	Explosion heat/（J/g）
Initial	4 215.6	60 °C，30 d	4 211.0
60 °C，60 d	4 205.0	60 °C，75 d	4 203.5
60 °C，90 d	4 171.0	70 °C，12 d	4 200.2
70 °C，18 d	4 196.6	70 °C，24 d	4 193.0
70 °C，30 d	4 189.0	80 °C，6 d	4 208.0
80 °C，9 d	4 180.0	80 °C，12 d	4 170

4 结 论

试验表明,在相同温度下,随着储存的天数增加,推进剂的爆热和燃速都有所下降,但下降幅度很小。对于高温下老化的推进剂,如 80℃下老化的推进剂,由于推进剂内部发生了复杂的化学和物理变化(由于高温,化学老化反应加速,产生的气体增加,而高温条件下双基推进剂的塑性增大,部分气体不能及时析出,存在于药柱内部;当升温结束时,推进剂在较冷的环境下便产生应力),使得推进剂内部产生很多明显裂纹。此种情况下,推进剂已不能正常使用了。

对于 70℃下老化的推进剂,其内部亦发生了复杂的物理化学变化,但其速度比 80℃时要低一些,所以随着时间的增加,其内部必然也要产生裂纹(如 70℃下 24 天,30 天样品)。对于 70℃下 12 天,18 天的推进剂,由于时间短,其内部还没有来得及产生裂纹,而由于化学分解能量降低,所以它的燃速有所下降。对于 60℃下老化的推进剂,其化学变化速度较 70℃时要小一些,所以它产生裂纹的时间比 70℃时产生裂纹的时间要长。对于刚生产的推进剂,由于时间短其燃速不可能发生变化。

在人工加速老化的环境下,由于推进剂化学分解,使能量(爆热)降低,燃速有所下降,但下降幅度很小。当老化温度较高或天数较长时,化学反应产生的内部气体使局部应力增加,因而导致裂纹产生。实验发现,未产生裂纹的人工老化装药,其燃速比未老化装药虽有减小,但幅度不大,用 RTR 系统很难察觉出这种变化。

从老化推进剂的裂纹扩展试验来看,一旦推进剂点燃,弹性较好的双基推进剂中存在的裂纹必定会扩展,产生灾难性后果。实验结果认为,60℃可以认为是安全老化温度,70℃和 80℃即使时间很短,推进剂内也会产生微裂纹或严重的宏观裂纹,对推进剂来说是很危险的。在进行人工老化时,冷却时应遵守一定的工艺,即按照一定的降温梯度冷却,否则,冷却速度太快会导致应力释放不及,使推进剂结构破坏。

参 考 文 献

- 1 王克秀,李葆萱,吴心平. 固体火箭推进剂及燃烧. 长沙:国防工业出版社,1983.
- 2 赵伯华,高 鸣. 火箭装药贮存寿命失效临界点的研究. 推进技术,1996,17(3)