

自然贮存条件下发动机的性能变化

张峪, 阳洁, 孙庆峰

(上海航天动力技术研究所, 上海 201109)

摘要: 某发动机在南、北方自然环境条件下贮存了1~3 a, 发动机各零部件与零状态相比差异不大, 随发动机一起贮存的药柱方坯力学性能有所下降。对发动机在南、北方自然贮存环境下的变化情况进行了描述, 就推进剂方坯力学性能下降情况进行了分析。

关键词: 自然环境; 贮存; 发动机

中图分类号: TJ711.089 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2012)06-0088-03

Analysis of SRM Performance Variation under Natural Storage Condition

ZHANG Yu, YANG Jie, SUN Qing-feng

(Shanghai Space Propulsion Technology Research Institute, Shanghai 201109, China)

Abstract: A type of solid rocket motor (SRM) was stored for 1~3 years in the southern and the northern China respectively. Test results showed that mechanical property of square propellant billets stored together with SRM decreases, while little change appears on the components. The variation of billet property was introduced and effects of propellant property on the overall performance of SRM under distinct environments were analyzed.

Key words: natural environment; storage; engine

由点火装置、燃烧室、尾管及扩散段等组成的某单室双推力固体火箭发动机, 分别在南方、北方进行户外3 a的自然贮存试验(发动机的点火器、电点火管、喷管烧蚀试件、密封圈和推进剂药柱方坯一起进行自然环境贮存试验), 考核发动机在规定的贮存期内, 其结构和性能是否满足技术条件和使用要求。随发动机贮存的推进剂方坯的测试结果在一定程度上可以预测发动机药柱结构完整性和发动机性能的变化情况。

1 环境条件

1.1 南方环境条件

南方点露天气温最高月份6月的温度数据(最高、最低、平均温度)如图1所示, 相对湿度最高月份8月的湿度数据(最高、最低、平均湿度)如图2所示。可以看出南方点属于高温高湿气候, 高温主要

收稿日期: 2012-08-01

作者简介: 张峪(1972—), 女, 辽宁盘锦人, 高级工程师, 研究方向为发动机总体设计。

影响推进剂老化性能,而相对较高的湿度容易使未涂漆的金属表面锈蚀。

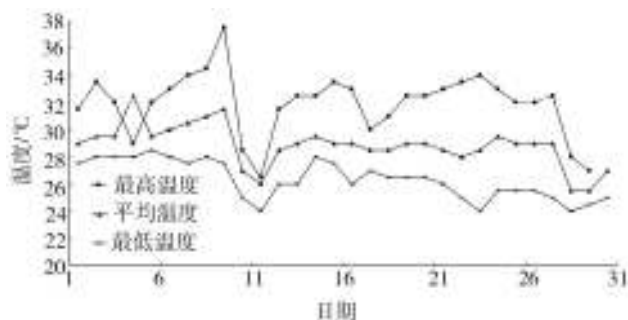


图1 6月份温度波动

Fig. 1 Temperature waving of June

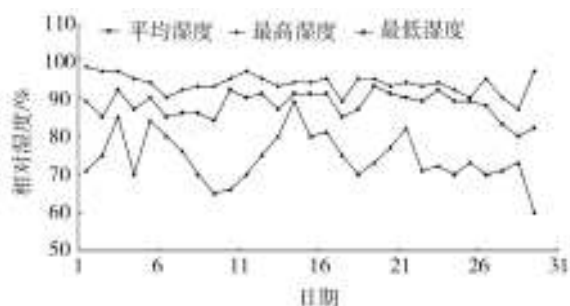


图2 8月份相对湿度变化

Fig. 2 Relative humidity change in August

1.2 北方环境条件

北方点1a的温湿度变化情况如图3所示。可以看出北方点1a的温、湿度变化比较大,冬天的湿度较高,夏天干燥,高温天气较少,气温对推进剂的老化性能影响较小;相对较高的湿度容易使未涂漆的金属表面锈蚀,冬天较低的温度对燃烧室装药结构完整性有一定影响。

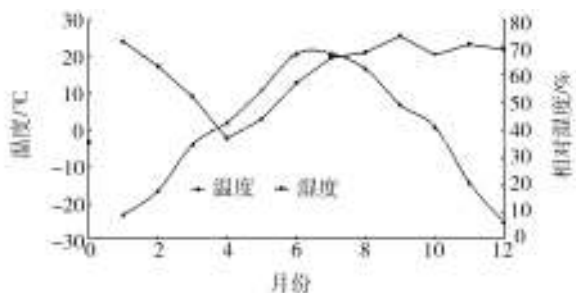


图3 北方点1a温湿度变化

Fig. 3 Temperature and relative humidity changes in one year (northern storage)

2 贮存后发动机与零状态变化情况对比

将露天贮存的发动机以及相关试件、试片和零部件进行测试和试验(分别进行1,2,3a测试)。

2.1 点火装置

外观检查、电点火管电阻测试均正常,点火装置单项试验结果均满足点火装置技术条件规定要求。点火装置单项试验点火正常,点火延迟时间与零状态一致。

2.2 尾喷管

进行尾喷管非金属试片烧蚀率测试,烧蚀率满足指标要求,结果与零状态一致。尾喷管经目视检查,除南方贮存产品金属件锈蚀较严重外无其它异常。

2.3 O形密封圈

进行外观检查并测试邵氏硬度,结果与零状态一致,无异常,无发软发粘现象。测试结果表明贮存2,3a的O形密封圈物理性能没有发生明显的变化。

2.4 推进剂方坯

进行燃速、密度、抗拉强度、伸长率、压强指数、温度敏感系数、玻璃化温度测试,其中南方自然贮存的速燃推进剂方坯力学性能在贮存1a后有所下降,下降趋势缓慢;2a后抗拉强度上升较明显,延伸率下降较明显。南方户外贮存的缓燃推进剂方坯力学性能变化趋势比较平缓,变化趋势与速燃推进剂方坯一致。

北方户外自然贮存的速燃推进剂方坯力学性能在贮存1a后下降较小,北方户外贮存的速燃推进剂方坯力学性能变化比南方户外贮存下降幅度小,缓燃推进剂方坯力学变化趋势比较平缓。南、北方自然贮存的推进剂药柱方坯力学性能变化趋势一致,但下降的幅度北方较南方相比明显更小。3a后速燃和缓燃推进剂方坯力学性能与2a的测试结果相比没有明显下降。

2.5 绝热层试片

绝热层试片进行力学性能、烧蚀率、剪切性能测

试,测试结果均满足指标要求。贮存2 a与3 a的数据没有明显变化,测试数据与零状态没有明显差别。

2.6 联合扯离试片

进行联合扯离性能测试,测试数据与零状态一致,无明显变化。

2.7 发动机

对发动机进行分解检查、燃烧室(I,II界面)无损检查、燃烧室药柱表面质量检查、扩散段粘接界面检查,无明显变形、裂纹、发粘、变软、变色、剥落现象,可见界面粘接质量良好。燃烧室壳体主接头、裙等金属件锈蚀明显(南方贮存的发动机锈蚀较严重),其余均无异常。

3 推进剂方坯测试结果及对发动机性能影响

零部件、试片、方坯的测试,点火装置单项试验以及发动机分解检查结果,除速燃推进剂方坯力学性能变化外,其他结果均正常。因此对推进剂的方坯测试情况进行分析,北方推进剂力学性能下降幅度与南方相比明显较小。以下仅对南方贮存的推进剂方坯力学性能进行分析和比较。

3.1 测试结果

对南、北方点的推进剂方坯进行力学性能数据测试,测试后的性能变化情况见表1、表2。其中↓

表1 速燃推进剂力学性能变化情况(南方点)

Table 1 Change of mechanical property of faster-burning propellant(southern storage)

变化幅度	+50 °C		+20 °C		-40 °C	
	σ_m	ε_m	σ_m	ε_m	σ_m	ε_m
户外1 a(T09)	↓ 7.7%	↓ 19.4%	↓ 4.2%	↓ 21.8%	↓ 6.9%	↓ 29.7%
户外2 a(T02)	↑ 18.8%	↓ 32%	↑ 24.5%	↓ 29.7%	↑ 12.7%	↓ 16%
户外2 a(T06)	↑ 13.8%	↓ 28%	↑ 24.7%	↓ 23%	↑ 6.8%	↓ 6%
户外3 a(T04)	↑ 17.4%	↓ 33.8%	↑ 25.6%	↓ 30.9%	↓ 2.3%	↓ 22.0%
户外3 a(T05)	↑ 13.4%	↓ 33.9%	↑ 26.7%	↓ 30.4%	↑ 11.3%	↓ 19.7%
平均值	↑ 11.1%	↓ 29.4%	↑ 19.5%	↓ 27.2%	↑ 4.3%	↓ 18.7%

表2 缓燃推进剂力学性能变化情况(南方点)

Table 2 Change of mechanical property of slow-burning propellant (southern storage)

变化幅度	+50 °C		+20 °C		-40 °C	
	σ_m	ε_m	σ_m	ε_m	σ_m	ε_m
户外1 a(T09)	↓ 10.9%	↓ 11%	↓ 9.5%	↓ 0.77%	↓ 8.8%	↓ 8.0%
户外2 a(T02)	↑ 14.5%	↓ 4%	↑ 7.9%	↓ 1.8%	↓ 2.9%	↓ 3.7%
户外2 a(T06)	↑ 3.2%	↑ 1.7%	↑ 7.1%	↑ 2.2%	↓ 12.7%	↓ 1.6%
户外3 a(T04)	↑ 21.7%	↓ 11.4%	↑ 14.4%	↓ 6.5%	↓ 5.4%	↓ 7.0%
户外3 a(T05)	↑ 19.7%	↓ 2.2%	↑ 16.8%	↓ 5.5%	↓ 15.5%	↓ 8.3%
平均值	↑ 9.6%	↓ 5.4%	↑ 7.3%	↓ 2.5%	↓ 7.1%	↓ 5.7%

表示下降,↑表示上升,表格中的数据表示与零状态相比上升或下降的百分比。

3.2 结果分析

从表1、表2可以看出,南方点速燃推进剂方坯

力学性能变化幅度比较大,速燃推进剂方坯力学性能1 a后下降,2 a后抗拉强度明显上升,伸长率下降。经分析认为速燃推进剂高温后存在部分后固化现象,主要原因是南方点的环境相对潮湿,温度相对

(下转第134页)

质量管理,更好地模拟样品实际状况,保证试验结果的真实有效。

参考文献:

[1] 汤姆逊 达利. 振动理论及应用[M]. 第5版,北京:清华大

学出版社,2005.

[2] 欧珠光. 工程振动[M]. 武汉:武汉大学出版社,2003.

[3] 李晓雷. 机械振动基础[M]. 北京:北京理工大学出版社,2005.

[4] 朱位秋. 随机振动[M]. 北京:科学出版社,1998.

[5] 张阿舟. 振动环境工程[M]. 北京:航空工业出版社,1986.

(上接第90页)

较高,推进剂方坯存在一定的吸湿现象,贮存1 a后推进剂方坯的后固化反应基本完成,2 a后推进剂力学性能趋于稳定;贮存2,3 a的推进剂数据基本一致,没有明显变化。

3.3 发动机装药结构完整性

根据南方点贮存3 a后的推进剂方坯力学性能测试结果,计算装药结构安全系数。由于推进剂方坯力学性能下降幅度较大,需对速燃及缓燃药柱处的结构完整性进行校核,评估结果见表3。

表3 校核南方贮存3 a后发动机装药结构安全系数

Table 3 Checking safety factor of the engine charged structure after 3 years in southern storage

装药结构 安全系数	温度/℃		
	+50	+20	-40
保温安全系数	20.29	7.13	3.50
点火安全系数	18.46	19.23	23.86
综合安全系数	9.66	5.20	3.05
保温安全系数	15.14	6.00	2.84
点火安全系数	13.31	15.62	18.75
综合安全系数	7.08	4.34	2.47

经过计算和分析,发动机在使用温度为-40 ℃时,其装药结构的综合安全系数最低。校核该发动机在极限情况下南方贮存3 a后发动机装药结构安全系数,低温下为2.47,该数值大于极限情况下发动机的最小安全系数,发动机的装药结构是可靠的,发动机可以进行后续的贮存试验。

4 发动机试车后结果

根据方坯性能下降情况分析发动机装药结构综合安全系数。发动机低温综合安全系数满足发动机

装药完整性要求,南方户外的4台发动机(贮存2,3 a各2台)采用低温-40 ℃试车(2台)和高温+50 ℃试车(2台),4台试验均获成功。与零状态发动机高、低温试验后的总冲、推力、工作时间、点火延迟时间等内弹道性能测试数据进行对比,数据基本吻合,表明在南方贮存了2~3 a的药柱结构完整性理论校核在一定程度上验证了发动机的工作可靠性,推进剂药柱方坯力学性能的变化对发动机药柱结构完整性影响不大。

5 结论

发动机经过2,3 a南、北方点户外贮存,试片、试件测试结果除南、北方贮存的推进剂方坯力学性能变化较为明显外,其余零部件与零状态基本一致,无明显变化。其中南方贮存2 a后推进剂方坯力学性能下降较为明显,3 a后趋于稳定;北方贮存的推进剂方坯力学性能变化趋势与南方相同,变化幅度小于南方。自然贮存使推进剂方坯力学性能产生变化,对装药的结构完整性有一定影响,通过药柱结构完整性计算证明了推进剂方坯力学性能的变化对发动机整体性能影响不大。经过南方自然贮存2,3 a后的发动机通过了高、低温静止试验考核,内弹道性能满足技术指标要求,发动机可以进行后续的贮存和试验。

参考文献:

[1] 孙庆峰. XX燃烧室装药南方储存点试验产品推进剂、绝热层、衬层配方分析报告[R]. 上海:上海航天动力技术研究所,2008.

[2] 孙庆峰. XX发动机用推进剂及绝热层南方贮存试验分析[R]. 上海:上海航天动力技术研究所,2009.

[3] 自然环境研究中心. XX发动机户外贮存试验报告[R]. 重庆:西南技术工程研究所,2006.

[4] 许敏. XX发动机贮存试验南方点(3年)装药结构完整性分析[R]. 上海:上海航天动力技术研究所,2009.