

耐烧蚀填料对三元乙丙橡胶内绝热材料性能的影响

白湘云 王立峰 吴福迪

(航天材料及工艺研究所,北京 100076)

文 摘 介绍了非石棉型有机短纤维和无机填料作为耐烧蚀填料在三元乙丙橡胶内绝热材料中的应用。探讨了它们对三元乙丙橡胶内绝热材料的力学性能、烧蚀性能的影响;同时对耐烧蚀填料的分散状况及加入耐烧蚀填料的三元乙丙橡胶内绝热材料的相关物理性能进行了测试与分析。结果表明:为获得综合的力学性能,耐烧蚀填料应控制合适的份数;非石棉型有机短纤维的加入可以大大提高耐烧蚀能力;所配制的三元乙丙橡胶内绝热材料密度低、隔热性能良好。

关键词 三元乙丙橡胶,耐烧蚀,低密度

Effects of Ablative Fillers on EPDM Ablative Insulation

Bai Xiangyun Wang Lifeng Wu Fudi

(Aerospace Research Institute of Materials & Processing Technology, Beijing 100076)

Abstract Non-asbestos short organic fibers and inorganic materials are introduced as ablative fillers for EPDM ablative insulation. Effects of ablative fillers on mechanical and ablative properties of EPDM ablative insulation are investigated. The dispersion of ablative fillers and the relative physical properties of EPDM ablative insulation with the fillers are also analyzed. Experimental results show that in order to obtain balanced mechanical properties, the weight content of ablative fillers should be controlled and the usage of non-asbestos short organic fibers could greatly improve ablative properties, which has low density and good heat insulation.

Key words EPDM, Ablative, Low density

1 前言

内绝热材料是固体火箭发动机必不可少的重要组成部分,它是介于发动机壳体与固体推进剂之间的一层隔热、耐烧蚀材料。它的作用是在发动机点火工作过程中保护壳体结构的完整性,保护发动机壳体在高温、高压燃气的环境中,不失强、不烧穿,从而保证发动机的正常工作;但它又是发动机消极质量的一部分,在满足使用要求的条件下,密度越小越好。因此,内绝热层材料需要满足的主要要求

是强度适中、扯断伸长率大、耐烧蚀性能好、密度低及良好的隔热性能。

与传统的丁腈橡胶等绝热材料相比,三元乙丙橡胶内绝热材料具有如下优点:(1)密度低;(2)良好的隔热和耐烧蚀性能;(3)优异的耐臭氧老化性能及耐侯性(贮存性能优良);(4)良好的力学性能;(5)与各种类型的推进剂及复合材料壳体具有良好的相容性。自20世纪70年代以来,世界许多国家都对其开展了广泛的研究^[1~3]。三元乙丙橡胶常用的耐烧

收稿日期:2003-10-24

白湘云,1974年出生,硕士,主要从事密封材料与结构设计方面研究工作
宇航材料工艺 2004年 第4期

蚀填料为石棉纤维、无机填料等,但石棉纤维对操作人员的健康有危害,国内外正在力图减少石棉纤维的使用。美国爱德华空军基地的火箭推进研究所,在1982年前后就开展了使用 Kevlar 非石棉型有机短纤维代替石棉纤维的研究工作^[4~6]。基于上述原因,本文选用非石棉型有机短纤维和无机填料作为耐烧蚀填料,进行了三元乙丙橡胶内绝热材料的试验研究工作,力求满足内绝热材料的需要。

2 试验

2.1 主要材料

三元乙丙橡胶、料体增粘剂、增塑剂、耐烧蚀填料、硫化剂。

2.2 试验过程

将各种原材料在 160 mm × 320 mm 开炼机上进行混炼。1[#] ~ 4[#] 典型配方的无机填料份数相同,非石棉型有机短纤维的份数分别是 0 份、5 份、10 份、20 份;3[#]、5[#] 典型配方的非石棉型有机短纤维的份数相同,无机填料的份数分别是 30 份、20 份。

2.3 性能测试

氧乙炔焰线烧蚀率按 GB323A—96 测试;

比热容按 GB330A—2000 测试;

热导率按 GB10295—88 测试;

热失重采用 TG 进行测试,程序升温速度为 10 /min,样品环境是空气;

材料的微观分析采用扫描电子显微镜进行;

密度和力学性能参照国家标准或化工部标准测定。

3 结果与讨论

3.1 力学性能

绝热层材料应当具有良好的力学性能,应能承受发动机在推进剂浇注与硫化、贮存、运输及飞行过程中所引起的各种应力的作用,特别还应当具有足够的伸长率以适应发动机增压及热循环应变的需要。

通过配方调试发现,耐烧蚀填料的加入量影响着材料的力学性能,其结果如表 1、表 2 所示。由表 1 可见,非石棉型有机短纤维的加入量对材料的扯断伸长率影响很大。随非石棉型有机短纤维加入量的提高,扯断伸长率显著降低。另外,非石棉型有机短纤维的加入,使得拉伸强度有所下降;但随其加入

份数的增加,拉伸强度又有所提高。

表 1 不同非石棉型有机短纤维含量配方材料的力学性能

样品 编号	拉伸强度 /MPa	伸长率 / %	永久变形 / %	硬度 (邵氏)
1 [#]	7.46	1 000	96	62 ~ 52
2 [#]	4.23	744	44	72
3 [#]	4.25	352	32	80
4 [#]	6.60	120	8	90

表 2 不同无机填料含量配方材料的力学性能

样品 编号	拉伸强度 /MPa	伸长率 / %	永久变形 / %	硬度 (邵氏)
3 [#]	4.25	352	32	80
5 [#]	4.54	680	60	80

从表 2 数据可见,无机填料的用量对材料力学性能的影响类似于非石棉型有机短纤维。随着加入量的提高,伸长率显著降低。

综合考虑到耐烧蚀填料对拉伸强度和扯断伸长率的影响,为了获得适宜的拉伸强度和扯断伸长率,两种耐烧蚀填料应控制合适的份数,同时份数的选择,还应兼顾到对烧蚀性能的影响。

3.2 烧蚀性能

3.2.1 典型配方材料的烧蚀性能

对于固体火箭发动机的内绝热材料来说,重要的性能指标是控制材料的烧蚀率,达到高的有效烧蚀热,提高发动机的有效载荷。表 3 中典型配方的内绝热层材料的线烧蚀率均达到了 0.1 mm/s 以下。

表 3 典型配方材料的烧蚀性能¹⁾

样品编号	试样背面最高温度/	线烧蚀率/mm s ⁻¹
1 [#]	60.4	0.087
2 [#]	66	0.056
3 [#]	63.9	0.049
4 [#]	57	0.035
5 [#]	55	0.047

注:1) 烧蚀条件为 3 000 K,烧 30 s。

3.2.2 耐烧蚀填料对烧蚀性能的影响

从配方试验中发现,非石棉型有机短纤维的加入,可以大大提高材料的烧蚀性能(表3)。1[#]配方只加入了无机填料作为耐烧蚀填料,其线烧蚀率高于其他加入了非石棉型有机短纤维的配方。通过对1[#]、3[#]配方材料烧蚀后的样品的表观电子显微镜照片分析发现:采用无机填料和非石棉型有机短纤维/无机填料,二者的炭化结构不同。前者的炭化结构中,无机填料是一小块一小块嵌在炭化层中,炭化层的机械强度很低,容易破碎[图1(a)];而后的炭化结构中的炭层相对是连续的,整个炭化层都交织着细丝纤维结构,炭化层的机械强度较高、较坚固[图1(b)]。



(a) 1[#] (b) 2[#]

图1 样品电镜照片

Fig.1 SEM photos of samples

从表3中1[#]~4[#]配方的线烧蚀率数据可以发现,随着非石棉型有机短纤维的份数提高,线烧蚀率下降,耐烧蚀能力提高。综合考虑耐烧蚀填料对力学性能和烧蚀性能的影响,建议非石棉型有机短纤维的选用份数为10份左右,无机填料的选用份数为20份~30份。

3.3 热物理性能

典型配方材料的比热容及热导率如表4所示。由表4可见,耐烧蚀填料份数的变化对材料的热常数影响不大,这说明两种耐烧蚀填料的搭配比例比较合适,获得了较低的热导率及热扩散率,材料具有良好的隔热作用。

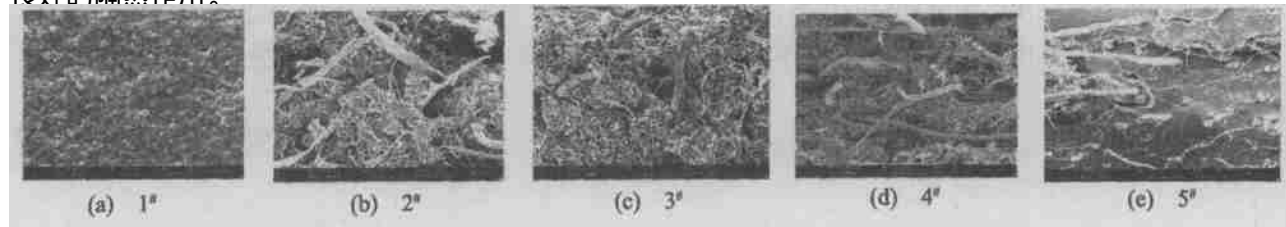


图2 典型配方材料经拉伸后的断面形貌

Fig.2 Cross sections of typical formulas after elongation

表4 典型配方材料的热常数¹⁾

样品 编号	比热容 $C_p/J \cdot (g \cdot K)^{-1}$	热导率 $/W \cdot (m \cdot K)^{-1}$	热扩散率 $/10^{-7}m^2 \cdot s^{-1}$
1 [#]	2.051	0.24	1.14
2 [#]	2.037	0.23	1.14
3 [#]	2.084	0.22	1.03
4 [#]	1.942	0.24	1.22
5 [#]	2.084	0.23	1.10

注:1)测试温度为室温~150。

3.4 密度

典型配方材料的密度见表5。从表5可见典型配方材料的内绝热层的密度为 $0.99 g/cm^3 \sim 1.03 g/cm^3$ 。此类材料的密度较低,一是由于三元乙丙橡胶基体的密度低,二是由于合理地选择了耐烧蚀填料。

表5 典型配方材料的密度

样品编号	密度/ $g \cdot cm^{-3}$
1 [#]	1.03
2 [#]	0.99
3 [#]	1.02
4 [#]	1.01
5 [#]	1.00

3.5 微观分析

非石棉型有机短纤维作为耐烧蚀填料,由于其自身是极性化合物,试验中所使用的短纤维极易集结成团;同时,非石棉型有机短纤维与三元乙丙橡胶的极性不相容,这些都造成了非石棉型有机短纤维在混炼胶中难以分散。非石棉型有机短纤维在混炼胶中的分散不均匀,直接影响着材料的各种性能。图2是1[#]~5[#]材料经拉伸测试后的断面电子显微镜照片,从这些图中可以发现,耐烧蚀填料已经实现了较为均匀的分散,从而确保材料的力学性能、烧蚀性能的稳定均一性。

4 结论

(1)耐烧蚀填料的加入量对内绝热材料的力学性能影响较大,随用量增加,扯断伸长率降低;非石棉型有机短纤维的加入可以大大提高三元乙丙橡胶内绝热材料的耐烧蚀能力,随用量增加,线烧蚀率降低,耐烧蚀能力提高。综合考虑耐烧蚀填料对力学性能和烧蚀性能的影响,建议非石棉型有机短纤维的选用份数为10份左右,无机填料的选用份数为20份~30份。典型的力学性能为拉伸强度4.25 MPa~4.54 MPa,伸长率352%~680%。典型的烧蚀性能为线烧蚀率0.047 mm/s~0.049 mm/s。

(2)加入耐烧蚀填料的三元乙丙橡胶内绝热材料密度为1.00 g/cm³~1.02 g/cm³,比热容为2.084 J/g·K,热导率为0.22 W/m·K~0.23 W/m·K,热扩散率为1.03 ×10⁻⁷ m²/s~1.10 ×10⁻⁷ m²/s,可以满

足内绝热材料对低密度及隔热的需求。

(3)耐烧蚀填料在三元乙丙橡胶内绝热材料中分散良好,保证了材料的性能稳定性。

参考文献

- 1 青木弘之. 用于火箭发动机的橡胶类绝热材料的研究. 固体发动机技术, 1981; (1): 76~81
- 2 余利风. 航天发动机用低密度绝热层的研制. 国外固体火箭技术, 1980; (4): 15~26
- 3 Guillot D G. Low density thermoplastic elastomeric insulation for rocket motors. USP 5 498 649, 1996 - 4 - 12:7
- 4 Herring Li G. Elastomeric insulating materials for rocket motors. USP 4 501 847, 1985 - 03 - 27:5
- 5 马国富, 于恒山. 燃气发生器绝热层研制. 推进技术, 1998, 19(5): 80~84
- 6 怀特 W E. 火箭发动机用的弹性体化酚醛树脂烧蚀性隔热物. CN 1387607A, 2002 - 12 - 25:33

多用途便携式红外热像仪

根据物体辐射的红外能量,通过光学系统、红外探测器及图像显示器,把接收到的红外能量信号转变成电信号,由图像显示器显示物体的温度场分布,对物体进行温度测量。其性能指标:

- (1)温度分辨率<0.1 (对30°物体);
- (2)空间分辨率:20°视场,3.4 mrad;7°视场,1.1 mrad;
- (3)温度量程为;-20 ~ +900 (加滤光片为1600);
- (4)场频为25/s;
- (5)扫描线频率为2500/s。

本成果为技术密集型产品,体积小、质量轻、场速高、携带方便,具有双等温和热图像实时磁带记录功能。在3 μm~5 μm的快速扫描热成像系统技术方面,填补了国内空白。温度分辨率、空间分辨率和时间分辨率等三个品质要素达到国际技术水平。

本成果可广泛应用于军事目标的探测,医疗上用于检查体表温度的变异,消防探火预警,节能技术探测,工业无损探伤,冶金、电力、化工等领域的温度测量。在军事、医疗、电力、冶金、化工等领域使用,取得显著的经济、社会效益。

(200233 上海精密仪器研究所,64362711 - 218)

·李连清·