

J210 - 8绝热层的研制及其应用

张崇耿 张新航 李强 张海鹏 赵荣

(陕西剑峰机械研究所,西安 710065)

摘 要 针对某型号固体火箭发动机的防热要求,采用芳纶纤维、卤锑阻燃体系研制了新三元乙丙橡胶绝热层,配方中加入不饱和羧酸金属盐和某烷基酚醛树脂,拉伸强度和断裂伸长率分别提高了 3 MPa和 200%。同时采用纳米陶瓷粉体提高了碳层的致密性,线烧蚀率由原来的 0.12~0.14 mm/s,降为 0.086~0.12 mm/s,最终研制的 J210 - 8绝热层已成功应用于 30 s固体火箭发动机的燃烧室防热中。

关键词 三元乙丙橡胶,绝热层,固体火箭发动机,燃烧室

Preparation and Application of J210 - 8 Insulation

Zhang Chonggeng Zhang Xinhang Li Qiang Zhang Haipeng Zhao Rong

(Shaanxi Jianfeng Machine Institute, Xi'an 710065)

Abstract New EPDM insulation is prepared by using aramid fiber and halogen Sb-containing flame retardant system to satisfy the need of heat protection of some solid rocket motor. In the process of the formula preparation, unsaturated metal carboxylic acid and alkyl-phenolic resin are added. Stretch strength and elongation at break are increased by 3 MPa and 200% respectively. In the meantime, the compactness of the remainder carbon layer is enhanced and the linear ablation rate is decreased from 0.12~0.14 mm/s to 0.086~0.12 mm/s by adding some nano-ceramic powder to the insulation formula. J210 - 8 insulation developed by our institute has good performances and is successfully applied in chamber heat-insulation of 30 s solid rocket motor.

Key words EPDM rubber, Insulation, Solid rocket motor, Chamber

1 前言

目前固体火箭发动机燃烧室内绝热层主要有三元乙丙橡胶(EPDM)和丁腈橡胶。EPDM由于本身的烧蚀性能无法满足固体火箭发动机中高温、高压、高速气流冲刷的环境要求,因此它在使用时必须加入芳纶纤维以提高其耐烧蚀性能^[1~3],但芳纶纤维的加入会降低拉伸强度和断裂伸长率。本文采用纳米陶瓷粉体提高了碳层的致密性,降低了线烧蚀率,并对其作用机理等作了细致的讨论。

2 实验

2.1 主要原材料

EPDM:第三单体为乙叉降冰片烯(ENB),乙烯质量分数为 53%~59%,ENB中碘值为 19~25 g/100 g,日本进口。过氧化二异丙苯(DCP):质量分数 98%,太仓塑料助剂厂。芳纶纤维:长度 3~5 mm,上海合成纤维研究所。阻燃剂:含溴阻燃剂、Sb₂O₃。

纳米陶瓷粉体:市售。

2.2 测试方法

密度按 GB1463—88 测试;邵氏硬度按 GB/T531—92 测试;烧蚀性能按 GJB323A—96 测试;烧蚀时间为 20 s,热流密度 450.9~42 kW/m²,拉伸强度和断裂伸长率按 QJ916—85 进行;扯离强度按 QJ 2038 1—91 进行, T_g 按玻璃化标准物质的定值方法进行;热导率用比较法。

2.3 试件制作

将 EPDM、阻燃剂、补强剂、填料、芳纶纤维、DCP、工艺助剂等在开炼机上混炼均匀、薄通、出片,混炼胶停放 12 h 后,用专用工具进行裁片、装模、硫化。硫化压力 15 MPa,160 °C 下硫化 1 h。

2.4 基本配方

EPDM 4045 为 100 g,芳纶纤维为 6 g,ZnO 为 5 g,硬脂酸为 0.6 g,DCP 为 5 g。

收稿日期:2006-08-30;修回日期:2006-12-19

作者简介:张崇耿,1965 年出生,高级工程师,主要从事固体火箭发动机非金属材料 and 工艺的研究工作

3 结果与讨论

3.1 加入补强剂的效果

加入一定量不饱和羧酸金属盐和烷基酚醛树脂,可使拉伸强度和断裂伸长率分别提高 3 MPa 和 200% (表 1)。

表 1 补强剂对拉伸强度和断裂伸长率的影响

Tab 1 Effect of reinforcing filler on stretch strength and elongation at break

组分体系	拉伸强度 /MPa	断裂伸长率 /%
基本配方	4~5	350~400
基本配方 + 不饱和羧酸金属盐	7~8	350~400
基本配方 + 不饱和羧酸金属盐 + 某烷基酚醛树脂	7~8	500~600

不饱和羧酸金属盐对橡胶的补强作用,主要是因其与橡胶结合生成橡胶—金属离子键,而且在过氧化物硫化体系下自身均聚,形成对硫化胶具有很强补强作用的纳米—微米离子^[4];烷基酚醛树脂本身具有增黏作用,还起增塑和软化作用,烷基酚醛树脂在硫化温度下不会发生化学反应,这三种因素决定烷基酚醛树脂能够显著提高断裂伸长率。

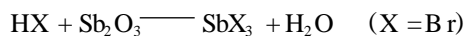
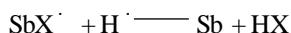
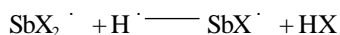
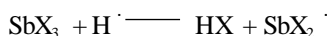
3.2 纳米陶瓷粉体对烧蚀成碳的作用机理

采用的陶瓷粉体为碳化物,在 1 000 开始氧化,表面形成氧化物保护层。碳化物在 2 700 升华,高温熔融可以起“烧结”作用,将碳层粘接起来。加入一定量的陶瓷粉体线烧蚀率可由原来的 0.12~0.14 mm/s 降为 0.086~0.12 mm/s。

3.3 卤锑阻燃体系的阻燃成碳机理

由于 EPDM 的分解温度高于溴阻燃剂的分解温度,所以受热时,溴阻燃剂首先分解放出 HBr,它与绝热层表面的 Sb₂O₃ 反应生成三溴化锑,从而起到了以下三方面作用:(1)促进聚合物表面的成炭;(2)稀释或隔断与氧的作用;(3)降低表面温度。

促进聚合物表面的成炭可以解释如下:



EPDM 分解时 SbX₃ 消耗了解产生的 H· 而剩余碳,加上三溴化锑与氧作用消耗氧、吸热,阻止了剩余碳的氧化。总之,SbX₃ 消耗氧和 H· 的结果并伴随覆盖和吸热的作用有利于成炭。

3.4 J210-8 绝热层的粘接性能

J210-8 绝热层的粘接性能测试结果见表 2。从表 2 可知,J210-8 绝热层在 -40 和 +60 下的扯离强度和拉伸强度及断裂伸长率均满足要求。

表 2 J210-8 绝热层的粘接性能

Tab 2 Adhesion performances of J210-8 insulation

测试温度 /	扯离强度 (熟胶与钢) /MPa	拉伸强度 /MPa	断裂伸长率 /%
-40	7.53	29.8	280
60	2.12	2.25~3.34	263~343

3.5 J210-8 绝热层的综合性能

由表 3 可见 J210-8 的综合性能满足设计要求。

表 3 J210-8 综合性能

Tab 3 Summary performances of J210-8 insulation

对比	密度 /g·cm ⁻³	线烧蚀率 /mm·s ⁻¹	质量烧蚀率 /g·s ⁻¹	拉伸强度 /MPa	伸长率 /%
指标要求	<1.2	<0.12	<0.07	>4	>300
实测性能	1.18	0.09~0.12	0.06~0.07	7~8	500~600

3.6 J210-8 绝热层的地面试车情况

J210-8 绝热层试验后绝热层情况见表 4。

表 4 发动机试验后绝热层情况¹⁾

Tab 4 Data of ablation test of motor chambers insulation

距后端面 /mm	第一发 /mm		第二发 /mm		第三发 /mm	
	试验前	剩余量	试验前	剩余量	试验前	剩余量
200	6.65	3.90	5.97	3.11	5.47	3.29
400	5.95	3.44	5.69	3.67	5.56	3.60
600	6.07	3.80	5.58	3.71	5.55	3.18
800	3.84	2.94	3.72	3.12	3.68	3.58

注:1)剩余量为铲掉碳层后剩余绝热层的厚度。

从发动机地面试车后发现,绝热层除个别点外,碳层厚度比原厚度增加,说明 J210-8 绝热层烧蚀后为碳层膨胀型,且碳层坚硬、致密、整体性好,壳体也没有出现过热现象。从表 4 可以看出,去掉碳层后,剩余厚度较大,均 >3 mm,说明 J210-8 绝热层满足某固体火箭发动机的防热要求。

4 结论

采用在配方中加入不饱和羧酸金属盐和烷基酚醛树脂,拉伸强度和断裂伸长率分别提高了 3 MPa 和 200%,解决了三元乙丙橡胶绝热层中加入芳纶纤维拉伸强度和断裂伸长率偏低的问题。加入纳米陶瓷粉体提高了碳层的致密性,线烧蚀率由原来的 0.12~0.14 mm/s,降为 0.086~0.12 mm/s,研制出的 J210-8 绝热层综合性能优良,成功地应用于某固体火箭发动机的燃烧室防热中。

参考文献

- 1 Clake B. Thermal insulation for rocket motors US5821284
- 2 张新航,李强,赵荣等.耐烧蚀、低密度三元乙丙橡胶绝热层的研制.宇航材料工艺,2005;35(1):39~41
- 3 张崇耿,张新航,李强等.耐烧蚀三元乙丙橡胶绝热层新配方的特性及其在某固体火箭发动机中的初步应用.见:中国宇航学会 2006 年固体火箭推进第 23 届年会论文集(推进剂及材料分册),呼和浩特,2006:248~251
- 4 赵阳,张立群,卢咏来等.不饱和羧酸金属盐在橡胶工业中的应用.橡胶工业,2000;47(8):497

(编辑 吴坚)

宇航材料工艺 2007 年 第 3 期