

文章编号: 1006-9941(1999)03-0137-04

GAP/AN 推进剂燃速特性研究

赵孝彬¹, 侯林法¹, 张小平¹, 于敏²

(1. 湖北红星化学研究所, 湖北 襄樊 441003;

2. 黑龙江省供销学校, 黑龙江 哈尔滨 150050)

摘要: 研究了粘合剂类型、增塑比、AN 含量和粒度、AP 和 HMX 以及 Al 的含量对 GAP/AN 推进剂燃速特性的影响。结果表明, 增塑比及 AN 含量是影响 GAP/AN 推进剂燃速特性的主要因素。结果表明, 增塑比和 AN 含量越低, GAP/AN 推进剂的燃速越高, 压强指数越低。

关键词: GAP/AN 推进剂; 燃速特性; 压强指数

中图分类号: V512

文献标识码: A

1 引言

固体推进剂的发展趋势是向高能、低特征信号、低易损性、低污染方向发展^[1-4]。由于目前广泛应用的 HTPB/AP 推进剂燃烧产物中含有大量有毒的 HCl 气体和 Al_2O_3 颗粒, 无法满足推进剂低特征信号、低污染的要求, 因此推进剂研制者又研制出硝酸酯增塑的聚醚推进剂 (NEPE)、以硝胺炸药为基的少烟或无烟推进剂以及配方中引入叠氮组分的叠氮推进剂。前两种推进剂虽然达到了高能少烟的目的, 但安全性能较差, 在强冲击条件下有爆炸的危险。

聚叠氮缩水甘油醚 (GAP) 是一种新型含能粘合剂, 具有正的生成热 ($957\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$) 和较高的密度 ($1.30\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)。硝酸铵 (AN) 作为氧化剂, 其主要优点是特征信号低、感度低、价格便宜。尽管硝酸铵的能量比较低, 但与含能粘合剂 GAP 结合使用, 仍可使推进剂具有较高的能量。国内外研究结果表明, GAP/AN 推进剂是一种低爆炸危险、低特征信号、低环境污染的推进剂。

GAP 虽然提高了推进剂的能量, 但是 GAP/AN 推进剂燃速低、压强指数高的问题仍然存在。国外为改

善 GAP/AN 推进剂的燃烧性能进行了大量的研究, 但结果仍不理想。本文通过实验研究了影响 GAP/AN 推进剂燃速特性的主要因素, 并初步探索出改善其燃烧性能的某些技术途径。

2 实验

2.1 推进剂的制备

推进剂配方如表 1 所示。按表 1 配方和一定的加料次序把推进剂组分加入到 VKM-5 型立式捏合机中混合 90min, 然后真空浇铸到模具中, 保压除气, 50°C 固化五天。

表 1 GAP/AN 推进剂配方

Table 1 Formulations of GAP/AN propellants

配方	GAP	BG	AN	AP	HMX	Al
1	6~25	0~19	70	-	-	5
2	7~12	13~23	65~75	-	-	5
3	8	16.7	0~70	0~70	-	5
4	8	16.7	0~70	-	0~70	5
5	8	16.7	60~70	-	-	0~10

注: BG 为 1,2,4-丁三醇三硝酸酯/硝化甘油混合物 (1: 1)。

2.2 实验方法

将推进剂制成 $4\text{mm} \times 4\text{mm} \times 110\text{mm}$ 的药条, 包覆后用氮气声发射法测定推进剂在不同压力下的燃速值, 计算压强指数 (n)。

3 实验结果与分析

3.1 粘合剂体系对推进剂燃速特性的影响

收稿日期: 1998-07-09 修回日期: 1999-01-06

基金项目: 国防科技重点实验室基金资助项目 (97JS35.4.1. HT4205)

作者简介: 赵孝彬 (1973-), 男, 硕士, 助理工程师, 主要从事固体推进剂燃烧性能研究。

3.1.1 GAP/AN 推进剂与 HTPB/AN 推进剂燃速特性的对比

由 GAP/AN 推进剂与 HTPB/AN 推进剂的对比研究(两配方中 AN 的含量均为 70%, GAP 和 HTPB 的含量为 30%)发现,粘合剂体系对推进剂的燃速特性有着显著的影响。GAP/AN 推进剂的燃速显著高于 HTPB/AN 推进剂,但是压强指数也较高。由图 1 可知, GAP/AN 推进剂的燃速为 $3.16\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ (6.86MPa), 压强指数为 0.71 (2.94 ~ 8.83MPa), 而 HTPB/AN 推进剂的燃速和压强指数则分别为 $1.67\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 0.41。一般认为粘合剂分解温度较低者, 推进剂的燃速较高; 粘合剂熔体流动性较好者, 推进剂的压强指数较低^[5]。GAP 粘合剂的分解温度为 250℃, HTPB 粘合剂的分解温度为 400℃, 而且 GAP 分子中含有能释放大量热量的叠氮基, 使得 GAP/AN 推进剂的燃速较高。

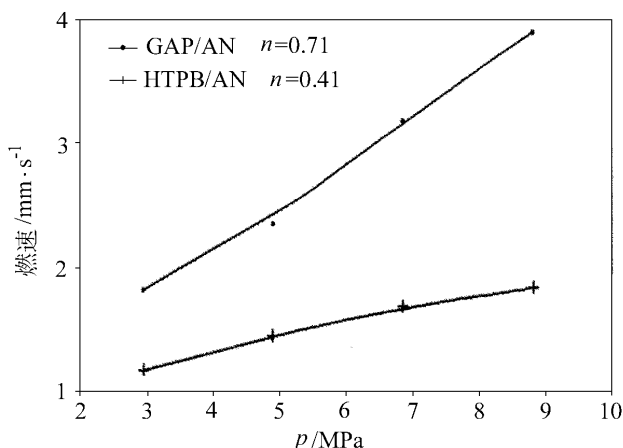


图 1 GAP/AN 推进剂与 HTPB/AN 推进剂的燃速特性

Fig. 1 Burning rate characteristics of GAP/AN and HTPB/AN propellants

3.1.2 增塑比对 GAP/AN 推进剂燃速特性的影响

增塑比对 GAP/AN 推进剂压强指数的影响非常显著。由图 2 可知, 增塑比从 0 变化到 3, 压强指数由 0.69 变化到 1.02。压强指数升高是由硝酸酯的热分解特性所决定的^[6]。硝酸酯在低压下的分解是单分子反应, 反应进行很慢, 同时存在着吸热挥发; 高压下硝酸酯分解产物与硝酸酯接触面积大, 分解反应为自加速过程, 放热量急剧增加, 使得推进剂燃速增加。

3.2 AN 对 GAP/AN 推进剂燃速特性的影响

3.2.1 AN 含量对 GAP/AN 推进剂燃速特性的影响

AN 含量(s)对 GAP/AN 推进剂燃速及压强指数

的影响均比较显著。由图 3 可知, AN 含量增加, 推进剂的燃速降低, 压强指数增加。这一方面是由于 AN 含量增加, 粘合剂体系相对含量减少, 叠氮基浓度降低, 文献[7]报道叠氮基的浓度与推进剂的燃速呈线性关系; 另一方面可能是由于 AN 含量增加, 在推进剂燃面形成的粘合剂熔化液层厚度变薄, 粘合剂由分解到完全暴露出所覆盖的 AN 颗粒的时间变短, AN 暴露在气相中的分解时间延长。由 AN 的热分解特性可知^[8], AN 在低压下分解为吸热过程, 高压下分解为放热过程, 因而导致推进剂具有较高的压强指数。

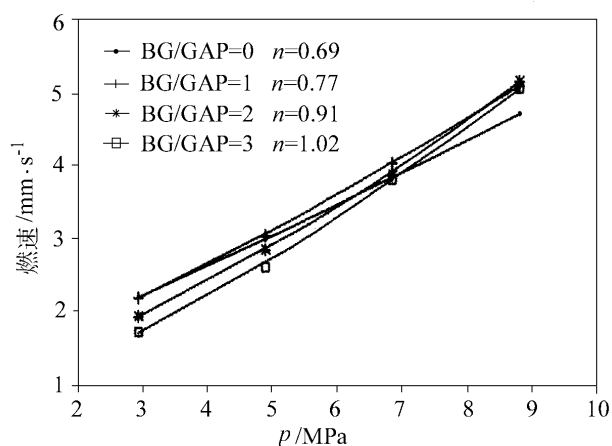


图 2 增塑比对 GAP/AN 推进剂燃速特性的影响

Fig. 2 Influence of plasticizing ratio on the burning rate characteristics of GAP/AN propellants

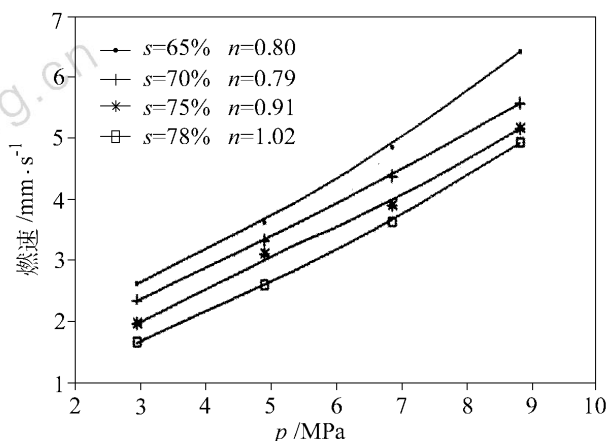


图 3 硝酸铵含量对 GAP/AN 推进剂燃速特性的影响

Fig. 3 Influence of AN content on the burning rate characteristics of GAP/AN propellants

3.2.2 AN 粒度对 GAP/AN 推进剂燃速特性的影响

由图 4(图中 A 代表粒度为 30μm 的 AN, B 代表粒度为 300μm 的 AN)可知, 含细粒度 AN 的推进剂燃

速较高,这是由于细粒度 AN 具有较大的比表面积、传热速率快、分解时间短,而且细粒度 AN 与粘合剂 GAP 之间存在较强的界面作用^[8]。粒度是调节 GAP/AN 推进剂燃速的途径之一。

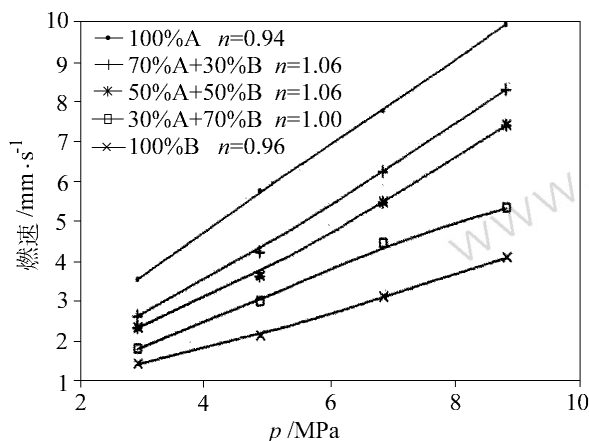


图4 硝酸铵粒度对 GAP/AN 推进剂燃速特性的影响
Fig. 4 Influence of AN particle size on the burning rate characteristics of GAP/AN propellants

3.3 添加剂对 GAP/AN 推进剂燃速特性的影响

3.3.1 AP 的影响

AP 可以显著改善 GAP/AN 推进剂的燃烧性能^[9]。由图 5 可以看出,AP 的含量达到 30% 时,可显著提高燃速、降低压强指数,压强指数由 0.93 降至 0.63,这时的推进剂燃速特性可能是由 AP 的扩散火焰所决定。

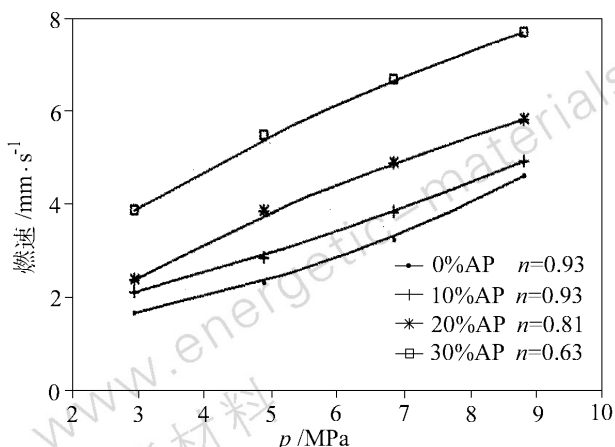


图5 AP 含量对 GAP/AN 推进剂燃速特性的影响
Fig. 5 Influence of AP content on the burning rate characteristics of GAP/AN propellants

3.3.2 HMX 的影响

由图 6 可知,加入 HMX 以后,GAP/AN 推进剂的燃速显著提高,当 HMX 的含量从 0 变化到 10% 时,压强指数由 0.93 降至 0.84,当 HMX 含量增至 50% 时,压强指数仍保持 0.84 不变。这说明 GAP/AN 推进剂与 GAP/HMX 推进剂的燃烧过程可能存在某些相似性。

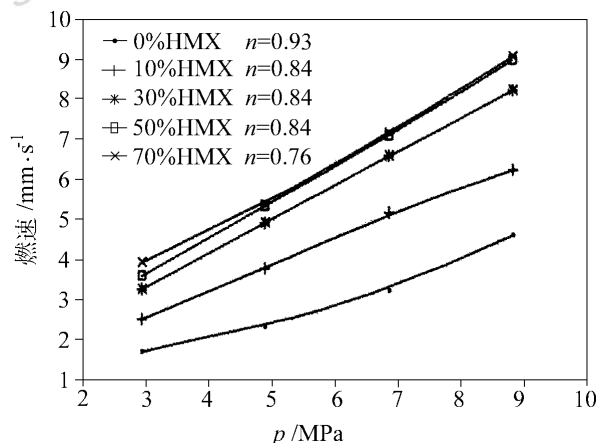


图6 HMX 含量对 GAP/AN 推进剂燃速特性的影响
Fig. 6 Influence of HMX content on the burning rate characteristics of GAP/AN propellants

3.3.3 铝粉的影响

铝粉能显著提高 GAP/AN 推进剂的能量水平,加入少量铝粉即能抑制推进剂的不稳定燃烧。由图 7 可知,铝粉含量从 0 变化到 10%,推进剂的燃速及压强指数变化均不显著。

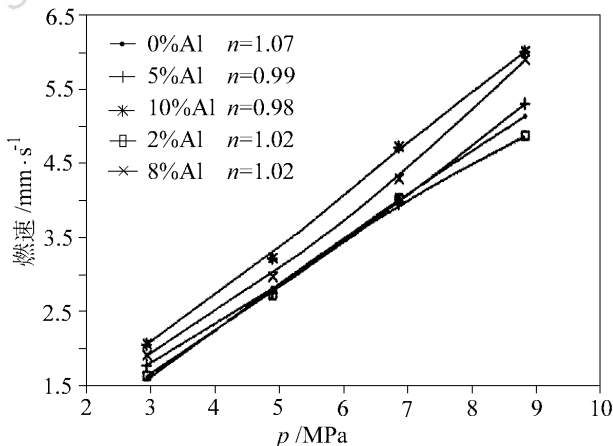


图7 铝粉含量对 GAP/AN 推进剂燃速特性的影响
Fig. 7 Influence of Al powder content on the burning rate characteristics of GAP/AN propellants

4 结 论

通过对 GAP/AN 推进剂燃速特性影响因素的研究,发现增塑比、AN 含量和粒度是影响 GAP/AN 推进剂燃速和压强指数的主要因素。在保证推进剂一定能量水平的前提下,增塑比越低、AN 含量越低,GAP/AN 推进剂的燃速越高,压强指数越低。通过调节增塑比和 AN 含量,可使 GAP/AN 推进剂的压强指数由 1.0 降至 0.7,燃速也可大幅度地提高。

参考文献:

- [1] Luis Araujo, et al. Thermochemical characteristics of AN/AP based composite propellants [C]. Proc. of the 25th Int. Annu. Conf. of ICT, 1994, 51: 1 ~ 11.
- [2] 吴正明. 当前国外含能材料研制进展 [Z]. 出国考察报告, 1992.
- [3] 李大海. 引人注目的低易损性炸药 [J]. 火工品, 1993.
- [4] 袁宗汉, 等. 固体推进剂信号特征检测技术 [C]. 国防科工委推进剂专业组 9410 年会, 1994. 4
- [5] 彭培根, 等. 固体推进剂性能及原理 [M]. 长沙: 国防科技大学, 1986.
- [6] 张仁. 固体推进剂的燃烧与催化 [M]. 长沙: 国防科技大学, 1992.
- [7] Kubota N. Combustion of energetic azide polymers [J]. Journal of Propulsion and Power, 1995, 11 (4): 677 ~ 682.
- [8] 赵孝彬. 叠氮推进剂应用基础研究: [硕士学位论文] [D]. 航天工业总公司四十二研究所, 1998.
- [9] Akira I, et al. GAP/AN/AP/Al-Mg propellants for low pollution and waste cost and their application to $>70\text{mm}$ moter [C]. Proc. of the 23rd Int. Annu. Conf. of ICT, 1992, 26: 1 ~ 14.

A Study on the Burning Rate Characteristics of GAP/AN Propellants

ZHAO Xiao-bin¹, HOU Lin-fa¹, ZHANG Xiao-ping¹, YU Min²

(1. Red Star Institute of Chemistry, Xiangfan 441003, China;

2. Heilongjiang School of Supply and Demand, Ha'erbin 150050, China)

Abstract: The influence factors on the burning rate characteristics of GAP/AN propellants including binder, plasticizing ratio, AN content, particle size of AN, content of AP, HMX and Al were studied. The experimental results indicate that plasticizing ratio and AN content show a strong effect on the burning rate characteristics of GAP/AN propellants. Lowered the plasticizing ratio and AN content, the higher burning rate and lower burning rate pressure exponent were achieved.

Key words: GAP/AN propellant; burning rate characteristics; pressure exponent