

硝酸酯增塑聚醚高能推进剂高压燃烧性能研究^{*}

王芳, 张小平, 胡润芝, 汪越

(湖北航天化学技术研究所, 湖北 襄樊 441003)

摘要: 实验研究了硝酸酯增塑聚醚高能推进剂高压燃烧性能。通过对 PET, PEG 和叠氮聚醚三种粘合剂; NG, TEGDN 及 BITN 三种增塑剂; AP, RDX, Al 粉的含量和粒度进行研究, 发现推进剂在 9~25MPa 压强范围内燃速-压强曲线存在拐点, 得出了推进剂各主要组成及固体组分的含量和粒度变化时推进剂高压燃烧性能的变化规律: 分别以 PET, PEG 和叠氮聚醚为粘合剂时, 推进剂燃速依次升高; 含不同增塑剂的推进剂的燃速随增塑剂中硝酸酯基含量的增加而增加; AP 含量增加同时 RDX 含量减小, 燃速增大并且压强指数降低; AP 粒度减小时, 燃速增大, 并且超细 AP 可大幅度增加燃速; Al 粒度减小时, 燃速先减小后增大, 致使推进剂压强指数升高。

关键词: 高能推进剂; 高压; 燃烧性能

中图分类号: V512

文献标识码: A

文章编号: 1001-4055 (2004) 05-0469-04

Study on combustion properties of nitrate ester plasticized polyether propellants at high pressure

WANG Fang, ZHANG Xiaoping, HU Runzhi, WANG Yue

(Hubei Inst. of Aerospace Chemotechnology, Xiangfan 441003, China)

Abstract: Law of the high pressure combustion properties of the nitrate ester plasticized polyether propellants was studied in this paper. Effects of different binders (PET, PEG and GAP), plasticizers (NG, TEGDN and BITN), the contents and the particle sizes of solid ingredients (AP, RDX and Al) on combustion properties at high pressure were studied experimentally. It was found that there was the break point of $r-p$ curve in the nitrate ester plasticized polyether propellants from 9MPa to 25MPa, and the variation law of the high pressure combustion properties was obtained when composition and solid ingredients contents or particle sizes of propellants were changed. The combustion rate of propellant is increased in turn as binders are PET, PEG and GAP respectively; The more nitrate ester group, the higher the combustion rate of propellant with different plasticizers; when AP contents are increased and RDX contents are reduced, the combustion rate is increased and the pressure exponent is reduced; When the particle sizes of AP are reduced, the combustion rate is increased and super fine AP can increase it distinctly; When the particle sizes of Al are reduced, the combustion rate is reduced firstly and then increased. This results in the pressure exponent to increase.

Key words: High energy propellant; High pressure; Combustion performance

1 引言

双基推进剂、RDX-CMDB 推进剂和 AP 复合推进剂的高压燃烧规律研究已经较为深入^[1~4]。硝酸酯增塑聚醚推进剂具有能量高、使用温度范围宽和低温力学性能优异等优点, 对这类高能推进剂常规压强 (< 10MPa) 下的燃烧规律已进行了大量的研究, 一般认为在 3~9MPa 压强范围内, 压强指数可调节到 0.5

左右, 而高压下 (10MPa 以上) 的燃烧规律研究鲜见报道。为了拓宽高能推进剂应用领域, 本文初步研究了高能推进剂在 9~25MPa 压强范围内的燃烧特点, 并研究了其主要组成及固体组分的主要特性对推进剂高压燃烧性能的影响。

2 实验

实验采用的推进剂配方体系为: 聚醚/硝酸酯/

* 收稿日期: 2003-12-06; 修订日期: 2004-02-02。

作者简介: 王芳 (1978—), 女, 硕士, 研究领域为固体推进剂性能。

RDX/AP/Al, 固含量为 75%~78%。配方组成见表 1, 经 5L 真空混合装药, 常规浇注和固化, 得到均匀致密推进剂药块, 燃速采用水下声发射法测试。

Table 1 Composition of the nitrate ester plasticized polyether propellant

AP	RDX	Al	Nitrate ester	Binders	Others
20% ~ 40%	20% ~ 40%	15% ~ 21%	10% ~ 20%	10% ~ 20%	6%

3 高能推进剂在 9~ 25MPa 的燃烧特性

硝酸酯增塑聚醚高能推进剂中引入大量硝胺致使推进剂的燃速压强指数升高, 燃速可调范围变小, 高压下推进剂燃烧性能调节面临更严峻的问题。压强对推进剂燃烧的影响有两个方面: 一是压强升高, 涉及的凝聚相化学反应加快, 燃烧表面温度明显增加, 致使推进剂的燃速增加; 另一方面, 硝胺推进剂火焰存在暗区, 压强升高, 暗区和表面熔层变薄, 导致气相反馈热增加, 从而提高了燃烧表面的热量, 这也导致燃速增加^[5]。这两因素的综合作用, 使推进剂在高压下的燃速增长更快。图 1 是硝酸酯增塑聚醚高能推进剂在 9~ 25 MPa 压强范围内典型的燃速-压强曲线, 图 2 是燃速-压强对数图。

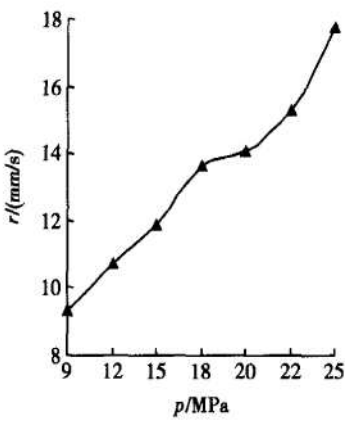


Fig. 1 r - p variation curve of the nitrate ester plasticized polyether propellant

从图 1 与图 2 可以看出在 9~ 15MPa, 燃速随压强升高上升速率逐渐减小, 到 15MPa 后, 燃速-压强曲线出现第一个拐点, 燃速随压强升高上升速率增大, 18MPa 左右出现第二个拐点, 燃速随压强升高上升速率再次减慢, 到 20MPa 后燃速随压强增大而上升速率加快。

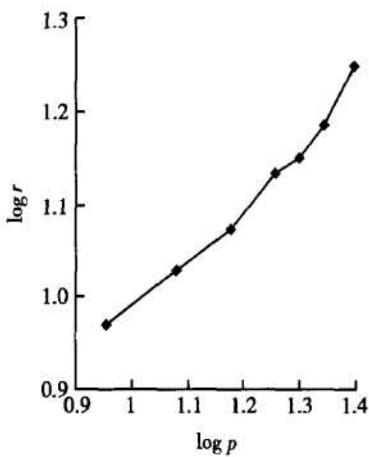


Fig. 2 $\log(p)$ - $\log(r)$ curve of the nitrate ester plasticized polyether propellant

4 推进剂主要组分对其高压燃烧性能的影响

4.1 粘合剂的影响

配方其它组成相同, 叠氮聚醚、PEG 和 PET 三种粘合剂分别作为推进剂的粘合剂时, 推进剂的燃速-压强曲线如图 3 所示。

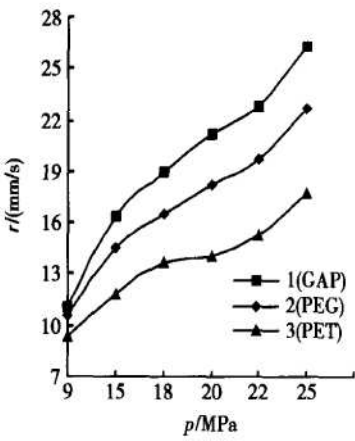


Fig. 3 r - p variation

从图 3 可以看出, 粘合剂不同, 推进剂的高压燃烧性能有显著差异。20MPa 以前, 以 PET 为粘合剂的推进剂燃速较低, 燃速压强曲线变化平缓, 20MPa 后燃速随压强增长速率增加, 燃速-压强曲线上扬。以 PEG 为粘合剂时, 9~ 15MPa 燃速随压强增长上升速率增大, 燃速-压强曲线变陡, 22MPa 后开始上扬。以叠氮聚醚为粘合剂时, 9~ 15MPa 燃速增长更快, 燃速-压强曲线更陡。造成上述差异的原因是含 PET 粘合剂的推进剂燃烧时, PET 首先吸热熔化的, 熔化液流到推进剂燃烧表面的 AP 晶粒上造成局部熄火, 从而使推进剂具有较低的燃速, 随着压强升高, 凝聚相化学反应加速, 燃温随之升高, 使 PET 熔化后迅速分解,

降低燃速的作用逐渐减弱。PEG 在受热时同样吸热熔化,但流动性比 PET 差,且 PEG 分解所放出的热量高于 PET,从而提高了燃速。叠氮聚醚是含能端羟基聚合物,热分解剧烈,同时释放出大量的热,使推进剂的燃速提高的更快^[6,7]。

4.2 增塑剂的影响

本文研究了 TEGDN, NG/TEGDN(质量配比为 1:1), BTN 和 NG 四种硝酸酯基含量依次升高的增塑剂对推进剂高压燃烧性能的影响。配方其它组分相同,燃速-压强曲线如图 4 所示。

从图 4 可以看出,增塑剂硝酸酯基含量增高,同一压强下的燃速升高,并且在 9~15MPa 压强范围内燃速随压强的变化速率逐渐加快,燃速-压强曲线变陡。到 22MPa 后,含 TEGDN 增塑剂的推进剂燃速-压强曲线开始上扬,而其它三种硝酸酯基含量推进剂的燃速-压强曲线均在 20MPa 后开始上扬。分析认为推进剂燃烧时,燃烧波中嘶嘶区和凝聚相反应区中 NO_2 与醛类物质反应生成 NO 是强烈的放热反应, NO_2 含量升高与高压强的双重作用,提高了气相反应速率和放热量,从而

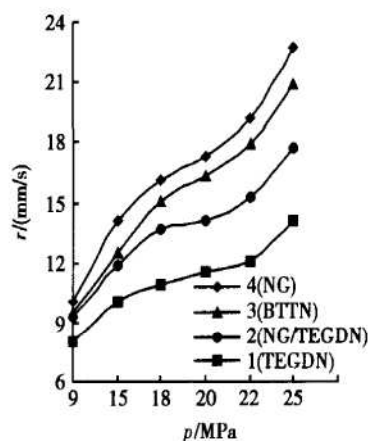


Fig. 4 r - p variation curve

增大了从嘶嘶区向固相表面传导的热流密度,使燃烧表面温度升高,最终导致推进剂燃速迅速上升^[8]。

4.3 固体组分含量的影响

所研究的高能推进剂中,固体组分为 AP, RDX 和 Al 粉。本文研究了 9~18MPa 压强范围内固体组分含量对推进剂燃烧性能的影响,燃速-压强曲线示于图 5~图 7 中。

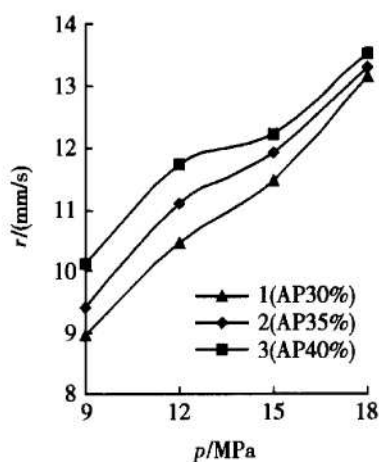


Fig. 5 r - p variation

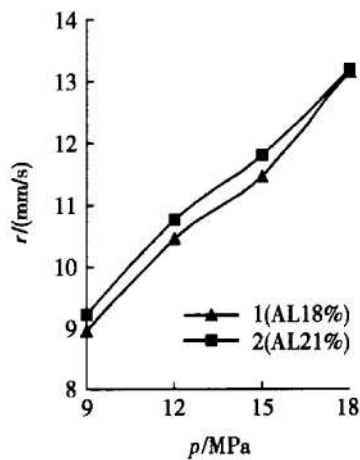


Fig. 6 r - p variation

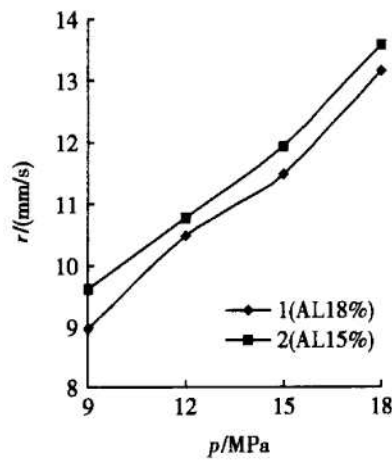


Fig. 7 r - p variation

(1) 由图 5 可以看出,当固含量和 Al 粉含量不变时,AP 含量增加,RDX 含量相应降低,9MPa 下的燃速明显增加,到 18MPa 时燃速相差不大。AP 和 RDX 的含量改变对 9~15MPa 压强范围内燃速的影响显著。

(2) 由图 6 可以看出,当固含量和 AP 含量不变时,Al 粉含量上升,燃速略有上升。

(3) 由图 7 可以看出,当固含量和 RDX 含量不变时,Al 粉含量上升,燃速下降。这主要是 AP 含量降低所造成的。

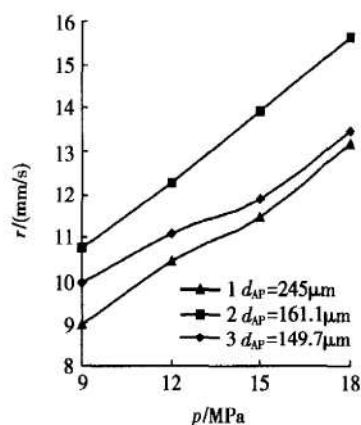
4.4 固体组分粒度的影响

固体组分粒度在推进剂中合理的分布可提高燃

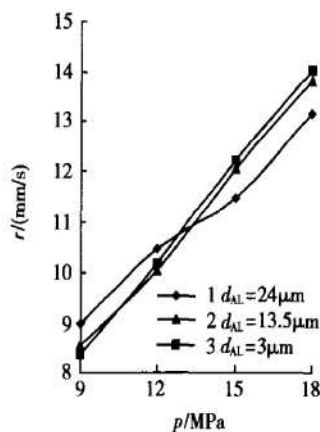
烧表面结构的均匀性^[9],改善高能推进剂的高压燃烧性能。本文分别研究了 AP, RDX 和 Al 粉的粒度对推进剂高压燃烧性能的影响。

(1) 图 8 中,三个配方的 AP 粒度级配依次为 iv/④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺ 其中 ⑤ 类超细 AP 的粒径为 7 μm 。由图 8 可以看出,AP 粒度降低时,在 9~18MPa 压强范围内燃速上升。值得注意的是,在质量平均粒度较高的配方-2 中加入超细 AP 时,比质量平均粒度低的配方-3 提高燃速的效果更显著。

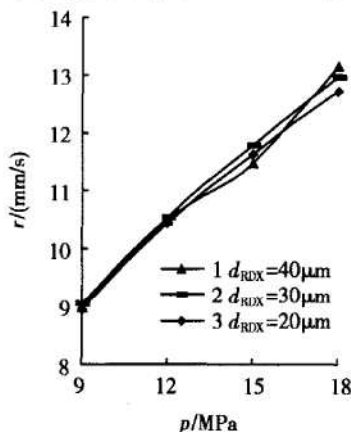
(2) 由图 9 可以看出,配方中随着 Al 粉粒度降低,9MPa 时的燃速依次降低。随压强升高,所含 Al 粉粒

Fig. 8 r - p variation

度越细的推进剂, 燃速增长越快, 到 18MPa 时, Al 粉粒度越细, 燃速越高。降低 Al 粉粒度, 压强指数增大。

Fig. 9 r - p variation

(3) 由图 10 可以看出, 配方中 RDX 粒度降低, 在 9~12MPa 压强范围内燃速几乎无变化, 到 12MPa 后随压强升高, 燃速发生变化。在 15MPa 时, $d_{\text{RDX}} = 30\mu\text{m}$ 和 $d_{\text{RDX}} = 20\mu\text{m}$ 的推进剂燃速比 $d_{\text{RDX}} = 40\mu\text{m}$ 的推进剂燃速均略有升高, 在 18MPa 时又略有降低, 消

Fig. 10 r - p variation

除了 15MPa 时的拐点。

5 结 论

(1) 硝酸酯增塑聚醚高能推进剂在 9~25MPa 压强范围内, 燃速-压强曲线存在拐点。(2) PET, PEG 和叠氮聚醚作为推进剂的粘合剂时, 同一压强下的燃速依次升高, 燃速随压强变化的敏感性也依次升高。(3) 含不同增塑剂的推进剂燃烧时, 燃速-压强曲线变化趋势相同, 但增塑剂中的硝酸酯基含量越高, 同一压强下的燃速越高。(4) 增加 AP 含量并同时减少 RDX 含量可提高推进剂的燃速。(5) 降低 AP 的粒度, 燃速升高, 超细 AP 可大幅度提高燃速。(6) 降低 RDX 的粒度, 推进剂燃速变化不显著, 但有利于消除燃速-压强曲线拐点。(7) 降低 Al 粉粒度, 燃速先下降后上升, 压强指数增大。

参考文献:

- [1] 胡波. 高压下固体推进剂燃烧的研究[D]. 北京: 北京工业学院, 1989.
- [2] 张春泰. 少烟丁羟推进剂高压性能研究[J]. 推进技术, 1995, 16(2). (ZHANG Chun-tai. An experimental investigation on properties of reduced-smoke HTPB propellant at high pressure[J]. *Journal of Propulsion Technology*, 1995, 16(2).)
- [3] 徐馨才, 吴祝骏. 降低丁羟推进剂高压压强指数研究[J]. 推进技术, 1993, 14(6). (XU Xin-cai, WU Zhu-jun. Research on lowering the pressure exponent of HTPB propellant at high pressure[J]. *Journal of Propulsion Technology*, 1993, 14(6).)
- [4] 徐浩星. 丁羟推进剂高压燃烧性能研究[R]. 湖北航天化学技术研究所, 2000.
- [5] 王伯羲. 火药燃烧理论[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1997.
- [6] 张仁. 固体推进剂的燃烧与催化[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1992.
- [7] 胡润芝, 张小平, 张诗平. GAP 推进剂的燃烧特性[J]. 固体火箭技术, 1996, 19(2).
- [8] 张续柱. 双基火药[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1997.
- [9] Bao-Chang Zhao. High pressure combustion characteristics of RDX based propellants[C]. *Twenty-second symposium on combustion*, 1988: 1835-42.

(编辑: 朱立影)