

AP/HTPB 推进剂凝聚相反应 对燃速的影响

国防科技大学 张 炜 张 仁

W. G. Schmidt^[1]和 K. Kishore 等人^[2,3]从推进剂实际燃烧过程发生在气相,而推进剂组分相对又不挥发的观点出发,得出在固相中必定要先发生一系列产生气态产物的凝聚相反应的结论。由于气相反应比凝聚相反应快得多,因而得出凝聚相反应是推进剂燃烧过程的主要控制步骤。

AP/Al/HTPB 推进剂的凝聚相反应主要是 AP/HTPB 及其组分的热分解反应和铝粉的吸热熔融。本文研究了 TMO 催化剂 (CuO、Fe₂O₃、Co₂O₃、TiO₂ 和 V₂O₅) 对 AP 及 AP/HTPB 推进剂热分解特性的影响以及 TMO 对 AP/HTPB 和 AP/Al/HTPB 推进剂燃速的影响。另外,还分析了铝粉对推进剂凝聚相反应的作用。

一、实 验

1. 热分析实验 AP/TMO 体系中,AP 为二级配 (180~280μ/30~40μ= 3.5),TMO 为 1.5%wt,取代等量的细 AP。

AP/HTPB/TMO 推进剂配方见表 1。差扫描量热 (DSC) 实验在国产 CDR-1 型差动热分析仪上进行,升温速度为 20、10、5 和 2℃/min,气氛为流速是 40ml/min 的氮气,参比物为 α-Al₂O₃。

2. 推进剂配方 推进剂配方见表 1。

表 1 推进剂配方 (含量% wt)

组 分	AP/HTPB/TMO	AP/Al/HTPB/TMO
AP (180~280μ)	66.2	34.5
AP (100~150μ)	0	33.0
AP (30~40μ)	17.3	0
Al	0	16.0
HTPB 粘合剂系统	12.5	12.5
KZ	2.5	2.5
TMO	1.5	1.5

二、实验结果及分析

1. 热分析实验
(1) AP/TMO 体系的热分析 经过对 AP/TMO 体系 (TMO: Co₂O₃、Fe₂O₃、CuO、TiO₂ 和 V₂O₅) 热分析曲线的考察发现: TMO 催化剂仅对 AP 的高温热分解过程有催化作用,如表 2

所示。(升温速度: AP 为 20℃/min, AP/HTPB 为 5℃/min。T_{PL}、T_{PH} 分别为低温热分解和高温热分解峰温。k_H 为高温热分解反应速率常数, 由 Arrhenius 方程求得, 其中活化能 E、指前因子由 Kissinger 法求得, T 取 600K。)

表 2 TMO 对 AP 及 AP/HTPB 热分解性能的影响

催化剂	无		Co ₂ O ₃		CuO		Fe ₂ O ₃		TiO ₂		V ₂ O ₅	
体 系	AP	AP/HTPB	AP	AP/HTPB	AP	AP/HTPB	AP	AP/HTPB	AP	AP/HTPB	AP	AP/HTPB
T _{PL} (°C)	313	282	308	285	310	283	315	282	312	283	315	279
T _{PH} (°C)	381	352	336	338	345	339	356	340	372	338	379	342
k _H	55	54	374	137	240	125	232	117	74	86	49	74

由此得出 TMO 对 AP 热分解的催化作用顺序为:

$$\text{Co}_2\text{O}_3 > \text{CuO} > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{TiO}_2 > \text{V}_2\text{O}_5$$

(2) AP/HTPB/TMO 推进剂的热分析 由推进剂试样的 DSC 曲线上发现, TMO 仍仅对相应的 AP 高温热分解过程有不同程度的催化作用, 热分解动力学参数见表 2。由此可见, TMO 对 AP/HTPB 推进剂热分解的催化作用顺序为:

$$\text{CuO} > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{Co}_2\text{O}_3 > \text{V}_2\text{O}_5 > \text{TiO}_2$$

两组热分析数据对比, 可以发现 TMO 催化剂对 AP 和 AP/HTPB 推进剂热分解的催化作用顺序有所不同, 即 AP 热分解的高效催化剂不一定对其推进剂系统的热分解催化作用强。

2. 燃速测试实验 在氮气压力为 5.88MPa 的条件下, 用水下声发射法测得 AP/HTPB/TMO 和 AP/Al/HTPB/TMO 推进剂的燃速。结果见表 3。

表 3 燃速测试数据 (燃速 mm/sec; 5.88MPa, N₂)

催化剂	无	Co ₂ O ₃	CuO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	V ₂ O ₅
AP/HTPB/TMO	6.5	9.1	10.4	9.7	7.4	7.5
AP/Al/HTPB/TMO	6.4	8.6	8.0	7.7	6.9	6.7

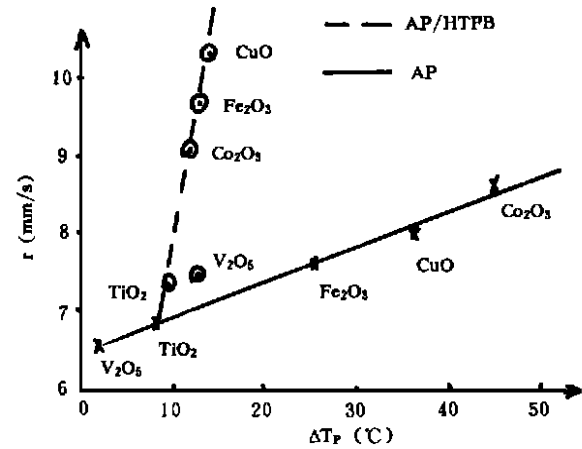


图 1 高温热分解峰温差与相应推进剂燃速的关系

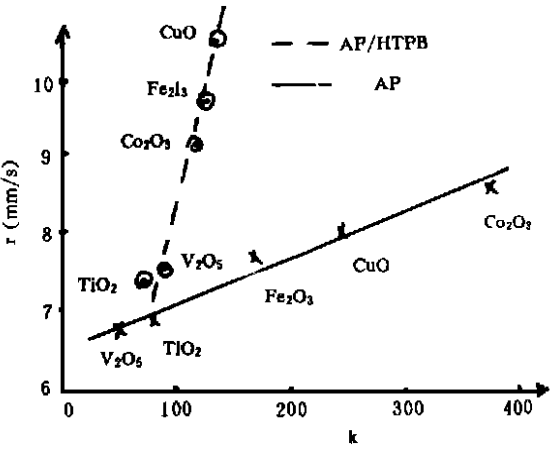


图 2 高温热分解反应速度常数与相应推进剂燃速的关系

3. 热分解性能与推进剂燃速的相关性 比较表 2 和表 3 及图 1 ($\Delta T_P = T_{PH} - T_{PH_{cat}}$) 图 2 和图 3, 我们发现:

- (1) AP/TMO 体系的热分解特性与含铝推进剂的燃速密切相关。
- (2) AP/TMO 体系的热分解特性与无铝推进剂的燃速无关。
- (3) 无铝推进剂的热分解特性与其燃速有对应关系。
- (4) 无铝推进剂的热分解特性与含铝推进剂的燃速无关。

由于热分析实验测得推进剂或其组分的凝聚相反应动力学数据, 因此由 AP 热分解性能与含铝推进剂燃速的关系及无铝推进剂热分解特性与其燃速的关系, 我们就可以得出这样的结论, 即推进剂的凝聚相反应速度决定了相应推进剂的燃速。

一般认为, 推进剂燃速之所以取决于氧化剂 AP 的热分解特性, 是因为氧化剂在复合固体推进剂配方中为主剂, 占总重量的百分之六十以上, 因此热分解特性决定了相应推进剂的凝聚相反应特性, 进而决定了推进剂的燃烧速度。但我们的实验结果表明, 此论点有一定的片面性。

我们认为, 引起含铝推进剂燃速仅与 AP 热分解特性有关, 而与无铝推进剂的热分解特性无关的原因在于铝粉的加入, 尽管增加了推进剂的燃烧热, 提高了气相反应速度, 但降低了凝聚相反应速度, 增加了凝聚相反应区的厚度, 从而突出了凝聚相反应尤其是主剂 AP 的热分解性能在整个推进剂燃烧过程中的重要性。

铝粉在推进剂燃烧过程中的区域不同所起的作用也不同。在凝聚相, 铝粉的熔融吸收热量, 降低了凝聚相反应速度。而在气相, 铝粉的氧化燃烧, 放出大量燃烧热, 加快了气相反应速度, 但气相反应的反应物, 即铝凝团、氧化剂和粘合剂的热分解产物来自凝聚相反应, 而且凝聚相反应速度比气相反应速度慢, 因此凝聚相反应速度的大小决定了推进剂的燃速, 这意味着, 铝粉的抑制凝聚相反应速度的作用对燃速的影响为主要因素。比较表 3 中两类推进剂燃速的数据, 发现含铝推进剂燃速低于无铝推进剂燃速, 这就证实了以上分析的正确性。

对无铝推进剂, 燃速则与其本身的热分解性能有关。即凝聚相中, 氧化剂与粘合剂的热分解速度之间匹配关系的约束^[4], 导致了 AP 热分解性能与无铝推进剂的热分解性能及其燃速的不相关性。

结论 (1) 含铝推进剂的燃速与 AP 热分解特性有关; 而无铝推进剂的燃速仅与其自身的热分解特性相关。(2) 铝粉抑制了凝聚相反应, 突出了主剂 AP 热分解特性对含铝推进剂燃速的决定作用。

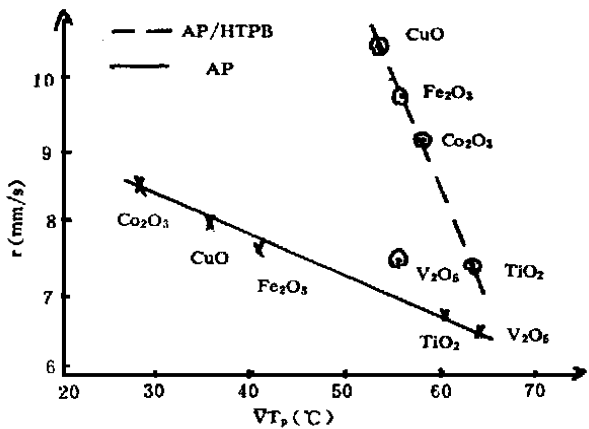


图 3 热分解峰温差与相应推进剂燃速的关系
($\Delta T_p = T_{PH} - T_{PL}$)

参 考 文 献

[1] W. G. Schmidt, "The Effect of Solid Phase Reactions on the Ballistic Properties of Propellants", NASA- CR- 112083.

[2] K. Kishore et al., "Condensed Phase Reactions in Solid Propellants", AIAA J. Vol. 13 (9), p1240, 1975.

[3] V. R. Pai Verneker and K. Kishore, "Combustion and Thermal Decomposition Characteristic of Composite Solid Propellants", Thermo. Acta Vol. 17 (1), p73, 1976.

[4] 张炜等, "AP/HTPB 推进剂组分热分解特性及其匹配关系对推进剂燃速的影响", 推进技术, Vol. 3, p27, 1986.

DEVELOPMENT OF AN EFFICIENT OIL FILM DAMPER FOR IMPROVING THE CONTROL OF ROTOR VIBRATION

Zhang Shiping and Yan Litang (*Beijing University of Aeronautics & Astronautics*)

ABSTRACT

An efficient oil film damper, known as Porous Squeeze Film Damper (PSFD) is developed from the normal squeeze film damper (SFD) for effective and reliable rotor vibration control. The outer race of the PSFD is made of permeable sintered porous metal materials. The permeability of PSFD under squeeze effect makes it possible for the oil to permeate through the porous outer race, so that the characteristics of squeeze film forces are improved, in particular, as the amplitude of eccentricity is rather great. The nonlinearity of squeeze film forces could be reduced due to PSFD permeability, and the relations between oil film stiffness coefficient and damping coefficient of squeeze film forces could be improved. Investigation demonstrates that: The cavitated SFD high nonlinear oil film stiffness forces, which lead to many undesirable nonlinear vibration characteristics, lessen due to the permeability of PSFD, and the damping forces are relatively enhanced by PSFD. The nonlinear vibration characteristics of SFD system such as bistable jump phenomenon are greatly improved and even eliminated at higher unbalance level with the PSFD system. The PSFD can operate effectively under greater unbalance loads as compared with the SFD system.

TECHNICAL NOTES

CORRELATION BETWEEN CONDENSED PHASE REACTION AND BURNING RATE OF AP/HTPB PROPELLANT

Zhang Wei and Zhang Ren (*National University of Defense Technology*)

ABSTRACT

The effects of transition metal oxides TMO on the thermal decomposition characteristics of AP and AP/HTPB propellants and on the burning rates of AP/HTPB and AP/Al/HTPB propellants are studied. The results show that the burning rate of AP/Al/HTPB/TMO propellant depends on the thermo-decomposition characteristics of AP/TMO and burning rate of AP/HTPB/TMO propellant depends on the thermo-decomposition characteristics of itself. The results also indicate that the aluminum decreases the burning rate of the propellant. It is suggested that the aluminum reduce the rate of condensed phase reactions and the stress effect of AP thermal decomposition properties on the burning rate of aluminized propellant.

A NEW DISTORTION SCREEN AND ITS APPLICATION

Ma Jiaju (*Nanjing Aeronautical Institute*)

ABSTRACT

A new distortion screen, "simulation poles", is proposed for simulation of steady state pressure distortion patterns. It is composed of a number of round poles with same diameter, the depth inserted into flow field may be adjusted steplessly during the test. The author applied it to scale simulator of an axisymmetrical random frequency