

文章编号: 1006-9941(2010)02-0180-04

镁粉粒度对 Mg/PTFE 贫氧推进剂燃烧性能的影响

郑磊, 潘功配, 陈昕, 乔立

(南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 为研究镁粉粒度对 Mg/PTFE 贫氧推进剂燃烧性能的影响, 采用粒度为 86.66, 56.89, 29.97, 25.55 μm 的四种球形镁粉与聚四氟乙烯粉复合处理, DTA-TG 分析热分解特性, 用高速摄影仪测推进剂线性和质量燃烧速度, 用红外测温仪测其火焰温度。实验结果表明: 随着镁粉粒度的减小, 复合物的热分解峰温度降低不明显, 但推进剂的质量燃速和线燃烧速度显著提高, 增幅最多达 3 倍, 燃烧火焰温度也随之升高了 170 $^{\circ}\text{C}$ 。

关键词: 军事化学与烟火技术; 贫氧推进剂; 燃烧性能; 聚四氟乙烯

中图分类号: TJ55; V512

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.02.012

1 引言

镁/聚四氟乙烯 (Mg/PTFE) 是一种由金属镁和聚四氟乙烯混合成的高能混合物, 具有燃烧温度高、热值大的特点, 多用于红外诱饵剂和红外照明剂及其闪光装置等^[1]。由热力学理论计算, 以 Mg/PTFE 为主体的贫氧推进剂负氧差大、配方可调性大。随着火箭技术的应用和发展, 对固体推进剂性能的要求越来越高, 研究 Mg/PTFE 推进剂的燃烧性能具有重要意义。

燃烧规律、燃速是表征推进剂燃烧性能的重要指标^[2], 影响这两个指标的因素很多, 如基础配方、原料性状、制备工艺、添加剂等, 尤其是近期的研究^[3-10]表明, 减小、超细化原料粒度能够改善推进剂的点火和燃烧性能, 为此, 本实验研究了镁粉粒度对模压工艺制备的 Mg/PTFE 贫氧推进剂燃烧性能的影响。

2 实验部分

2.1 试剂与仪器

试剂: 聚四氟乙烯和酚醛树脂均为工业品; 无水乙醇, 分析纯; 球形超细镁粉, 纯度 >98%, 工业品, 唐山威豪镁业公司, 激光粒度仪测得其粒径分布见表 1。

仪器: HCT-2 型热分析天平 (北京恒久有限公司), ARX 高速摄影仪 (日本哈模公司), IGA 140 非接触式远红外测温仪 (德国 IMPAC 仪器仪表公司, 镜头测量距离 340 ~ 4000 mm)。

表 1 四种球形镁粉粒径分布

Table 1 Particle size distributions of four kinds of spherical magnesium powders

No.	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]
d_{25}	68.71	45.61	21.95	18.90
d_{50}	86.66	56.89	29.97	25.55
d_{98}	214.05	101.55	66.52	55.99

Note: d_{25} , d_{50} , d_{98} are the maximum particle sizes when sieving transmittances are 25%, 50% and 98%, respectively.

2.2 实验过程

按质量比 671 : 329 称量 Mg/PTFE 10 g, 充分混合均匀, 取 2 mg 进行差热分析, 采用阶梯升温: 0 ~ 600 $^{\circ}\text{C}$, 40 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$; 600 ~ 800 $^{\circ}\text{C}$, 20 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$; 800 ~ 1000 $^{\circ}\text{C}$, 10 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 。外加 0.5 g 酚醛树脂作为粘合剂溶于适量酒精, 倒入预混物中, 搅拌均匀, 晾至半干过 20 目筛子造粒。完全晾干后装入内径 18 mm 的直筒形模具中, 恒定 2 MPa 在油压机上压制成药柱, 保压时间 2 s。取出模压的推进剂样品, 测量药柱高度、质量、包覆好, 按镁粉粒径从大到小依次排序为 1[#]、2[#]、3[#]、4[#]。常压条件下测试, 用红外测温仪监测燃烧火焰温度, 测试点为某一固定高度, 测试距离 75 cm; 同时用高速摄影仪记录整个燃烧过程, 测试距

收稿日期: 2009-11-13; 修回日期: 2010-01-25

基金项目: 国家部委科研项目 (40406030201)

作者简介: 郑磊 (1987 -), 男, 在读硕士研究生, 主要从事军事化学与烟火技术研究。e-mail: zhengleif17@163.com

通讯联系人: 陈昕 (1972 -), 女, 讲师, 主要从事军事化学与烟火技术研究。e-mail: chenxinnust308@163.com

离 4 m, 拍摄速率 250 幅/s。

3 结果与讨论

3.1 镁粉粒径对热分解特性的影响

推进剂的燃烧始于氧化剂的分解, 为研究推进剂组分间的反应过程, 对四种镁粉与聚四氟乙烯的复合物进行了 DTA-TG 分析, 结果见图 1。TG 曲线表明: 复合物在 550~600 °C 间分解失重, 在 850 °C 左右反应增重, 1[#]、2[#] 增重阶段分两步或多步进行; 曲线末端的不平滑是由基线漂移造成。DTA 曲线表明: 复合物吸热峰大都出现在 658~664 °C, 第一放热峰差异稍明显 (1[#]—869.3 °C, 2[#]—847.2 °C, 3[#]—845.5 °C, 4[#]—839.2 °C) 且 1[#]、2[#] 分别还有第二和第三放热峰。1[#]、4[#] 数据比较: 吸热峰提前 6 °C, 第一放热峰提前 30 °C, 变化不太大。

究其原因分析各反应历程: 先是镁粉吸热熔化, 然后 PTFE 受热分解, 再与气化后的镁反应放热。分解特性主要由镁粉、聚四氟乙烯的物化性质即熔化热、汽化热和反应热决定, 至于 1[#]、2[#] 放热反应出现多个峰, 是因为大粒径镁粉一次燃烧不尽而有了二次或三次补燃。

3.2 镁粉粒径对燃速的影响

根据高速摄影照片数推算推进剂药柱的燃烧时间, 再换算为质量燃烧速度和线燃烧速度。图 2 是高速摄影拍摄的 3[#] 推进剂燃烧过程中瞬间照片, 每两者之间时间间隔是 0.5 s, 可以看出: 除了点火和结束时段, 整个过程都保持比较稳定的燃烧, 且一致性较好。

四种推进剂样品燃速测试结果见表 2。

由表 2 可见, 推进剂的燃烧速度与原料粒度成非线性正比关系, 随着镁粉粒径的减小而增大, 且粒度越小变化越明显, 最大增幅达 3 倍。分析其原因为: (1) 粒径小的镁粉颗粒熔化、气化所需要的能量少, 容易点火然后释放出能量参与到后面的反应中去, 这样加快了整个过程的反应速度; (2) 小粒径镁粉更容易实现燃烧完全, 放热量大, 提高复合物的能量释放量^[11]; (3) 随着镁粉粒径的减小, 比表面积增大, 镁粉颗粒与氧化剂有更多的接触面积, 易形成局部热点, 可以更快更好地传火、传热。

3.3 镁粉粒径对燃烧温度的影响

镁粉粒度不一样, 燃烧状况就有所不同 (小粒度镁粉可以完全汽化燃烧释放能量, 粒度大的则相对比较困难), 间接影响燃烧火焰温度。用红外测温仪监测四种样品燃烧过程, 结果如图 3 所示。

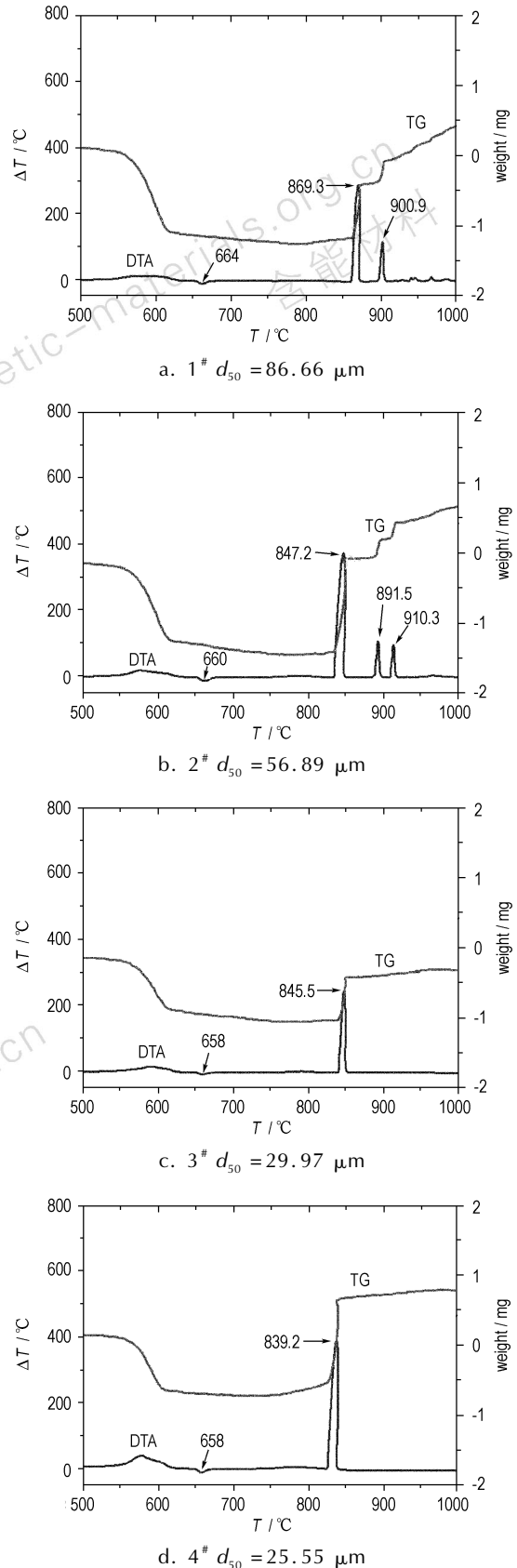


图 1 四种球形镁粉与聚四氟乙烯复合物的 DTA-TG 曲线
Fig. 1 DTA-TG curves of four kinds of Mg/PTFEs



图2 3#推进剂点火、燃烧、结束过程(图片时间间隔0.5 s)

Fig.2 The whole combustion process of 3# propellant (distant time is 0.5 s)

表2 模压推进剂燃速

Table 2 Burning rate of propellant made by molding method

No.	altitude /mm	quality /g	photos number /piece	burning time /s	linear burning rate /mm · s ⁻¹	molar burning rate /g · s ⁻¹
1#	22.8	10.834	2650	10.6	2.150	1.022
2#	22.8	10.823	2440	9.76	2.336	1.109
3#	22.00	10.454	745	2.98	7.383	3.508
4#	20.02	9.531	625	2.50	8.008	3.812

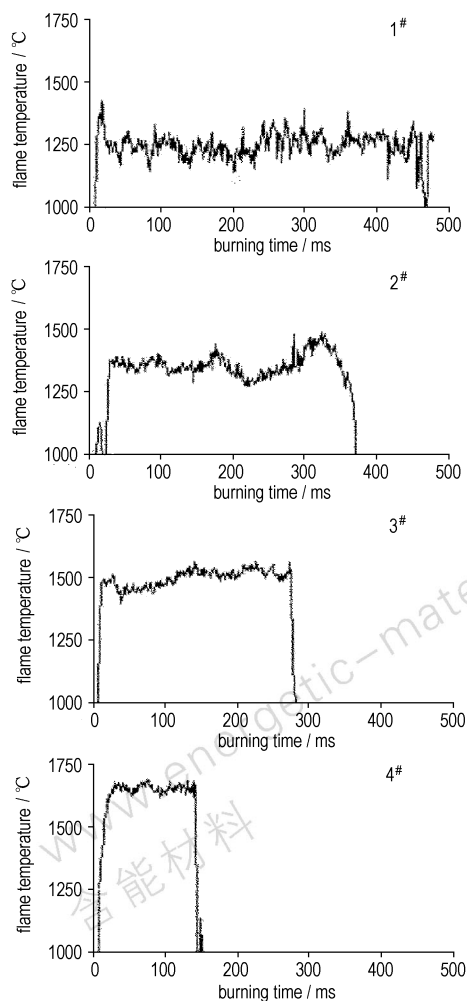


图3 模压推进剂燃烧温度

Fig.3 Combustion temperature of propellant made by molding method

处理数据并计算1#、2#、3#、4#完整过程的平均温度分别为1207.7, 1255.7, 1292.8, 1375.9 °C, 1#、4#相比增幅达170 °C。可以看出, 镁粉粒度逐步减小, 燃烧火焰温度呈阶梯式升高, 燃烧速度加快, 稳定性提高。

4 结论

常压条件下, Mg/PTFE 贫氧推进剂可以保持贯穿全过程的稳定燃烧, 且重现性好。固定其他组分不变, 只改变镁粉的粒度, Mg/PTFE 热分解温度提前; 推进剂的燃烧速度随着镁粉粒度的减小而增大, 粒度越小变化越明显; 燃烧火焰温度也随镁粉粒度的减小有较大提升。因此, 要改善推进剂的燃烧性能, 可以通过使用更小粒度镁粉来实现。

参考文献:

- [1] 赵非玉, 解锦, 郭永利, 等. 镁/聚四氟乙烯/氟橡胶(MTV)红外诱饵的红外辐射特性研究[J]. 光电技术应用, 2007, 22(1): 34-40.
ZHAO Fei-yu, XIE Jin, GUO Yong-li, et al. Research on the IR emission features of magnesium/teflon/viton(MTV) decoy flare[J]. *Electro-Optic Technology Application*, 2007, 22(1): 34-40.
- [2] 李葆萱. 固体推进剂性能[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1990: 3-4.
LI Bao-xuan. *Solid Propellant Properties*[M]. Xi'an: Published by Northwestern Polytechnical University, 1990: 3-4.
- [3] 庞维强, 胥会祥, 王国强, 等. 含镁铝富燃料推进剂低压燃速规律研究[J]. 计测技术, 2008, 28(6): 16-19.
PANG Wei-qiang, XU Hui-xiang, WANG Guo-qiang, et al. Study of burning rate in low pressure Mg/Al fuel-rich propellant[J]. *Measurements Technology*, 2008, 28(6): 16-19.

