

在高燃速推进剂中粗颗粒铝粉的作用

杨 凤 仪

(航空航天部 806 所)

摘 要: 本文用 $50\mu\text{m}$ 铝粉作复合固体推进剂金属燃料, 与大量超细氧化剂 (AP) 组成合理级配, 改善了药浆流变特性, 有利于提高燃速。 $50\mu\text{m}$ 铝粉的推进剂药条的燃速及 $\phi 118$ 发动机推进剂的燃速比相应的添加 $30\mu\text{m}$ 铝粉的高 $2\sim 3\text{mm/s}$ 。讨论了 $50\mu\text{m}$ 铝粉对推进剂工艺和燃速所起的作用。

主题词: 固体推进剂, 推进剂燃速, 流变学, 特性

THE FUNCTION OF COARSE-PARTICLE ALUMINIUM POWDER IN HIGH BURNING RATE SOLID PROPELLANT

Yang Fengyi

(The 806th Research Institute)

Abstract: The composite solid propellants containing $50\mu\text{m}$ Al powder as a combustible ingredient are described. An excellent aggregation composed of $50\mu\text{m}$ Al powder and a large quantity of finer particle size of oxidizer (AP) ameliorates the rheological characteristics of propellant slurry and increases the burning rate. The burning rate of the strand and the propellants in a test motor with $\phi 118$ diameter increases by $2\sim 3\text{mm/s}$ with the addition of $50\mu\text{m}$ Al powder compared with the addition of $30\mu\text{m}$. The effects of $50\mu\text{m}$ Al powder on the burning rate and propellant technology are discussed.

Keywords: Solid propellant, Propellant burning, Rheology, Characteristic

1 前 言

为了达到高燃速目的, 复合固体推进剂采用大量超细氧化剂 (AP), 无疑对制造工艺带来

困难。为了能真空浇注,又必须加入高含量稀释剂。残留在推进剂中的活性稀释剂产生交联、裂解,推进剂力学性能明显下降,影响贮存性能。一般推进剂配方中采用 30 或 16 μm 铝粉作为金属燃料。本文采用 50 μm 铝粉与大量超细氧化剂组成合理级配,减少稀释剂用量,并对粗铝粉在高燃速配方中的作用等作了一系列研究。

2 试验简述

配方中总固体含量为 85~86%,其中 69%氧化剂,细氧化剂占总量的 57%,铝粉含量为 16%;粘结系统 10.5%;催化剂、增塑剂 4.5~5%;外加稀释剂 3%。

采用一般推进剂制造工艺,称量、捏合、浇注和固化。按复合固体推进剂测试标准测试性能。应用 $\phi 118$ 标准发动机测试燃速、比冲。还扩大到某发动机装药,并进行高、低、常温试车试验。

3 试验结果

3.1 50 μm 铝粉在配方中级配估算

按《混合粉粒体的空隙率计算》^[1],在相同配方下分别计算了 50、30、16 μm 铝粉与 150~105 μm 及 7~9 μm 氧化剂级配的空隙率和最大体积分数 ϕ_m ,结果如下:

$$\phi_m^{50} = 0.5520 > \phi_m^{30} = 0.271 > \phi_m^{16} = 0.3882$$

可见 16%50 μm 铝粉与 12%150~105 μm 氧化剂及 57%7~9 μm 氧化剂的级配的可充填体积分数最大,也就是堆积空隙率最小。

实验证明,本配方采用 50 μm 铝粉使用 3%的稀释剂就可以真空浇注,而 30 μm 铝粉要用 6%的稀释剂。

3.2 铝粉粒度对推进剂粘度影响

图 1 显示了在相同配方条件下,推进剂粘度随铝粉粒度增大而降低。

3.3 铝粉粒度对燃速的影响

(1) 药条燃速。表 1 的数据表明 50 μm 铝粉比 16 μm 铝粉的推进剂燃速高 3~4mm/s。

(2) $\phi 118$ 发动机燃速。表 2 的数据表明 50 μm 铝粉的 $\phi 118$ 发动机装药燃速比 30 μm 铝粉的要高 2mm/s。

(3) 某发动机机燃速。表 3 数据表明 50 μm 铝粉在某发动机装药燃速比 30 μm 铝粉的要高 2~3mm/s。

(4) 对压强指数的影响。表 4 说明当使用 50 μm 铝粉时,燃速压强指数偏高。

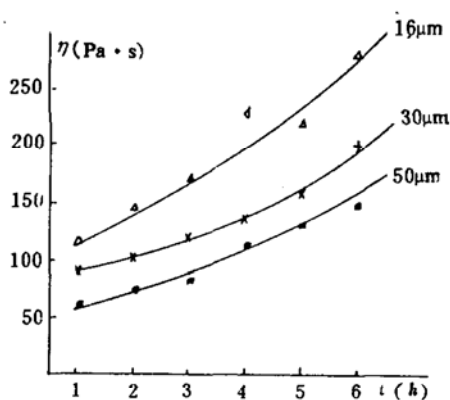


图 1 不同铝粉粒度对药浆粘度的影响

表 1 不同粒度铝粉推进剂燃速

编号	粒度 (μm)	含量 (%)	燃速* (mm/s)
423	50	16.16	34.68
437	30	16.16	33.36
438	16	16.16	30.96
85-D-2	50	16	34.56
85-D-3	30	16	33.37
85-D-4	16	16	30.27

* : 燃速仪燃速 (6MPa, 20℃)

表 2 $\phi 118$ 发动机燃速

装药号	发动机号	铝粉粒度 (μm)	喉 径 (mm)	平均压强 (MPa)	燃 速 (mm/s)	换算到 7MPa 下燃速 (mm/s)
458	2	50	27	9.16	34.30	31.92
	4		29.5	6.85	32.41	
	5		33	4.90	29.63	
459	1	30	27	8.04	31.15	29.72
	2		33	4.71	26.77	

表 3 某发动机燃速

编号	铝粉粒度 (μm)	喉径 (mm)	试车温度 ($^{\circ}\text{C}$)	平均压强 (MPa)	燃速 (mm/s)
81-3	50	104	20	7.47	35.40
82-01			20	7.24	35.29
82-02			50	8.40	40.10
82-03			-25	6.85	32.69
82-1-1	30	101	20	7.05	32.28
81-1-2			20	7.00	31.91
81-2-4			50	—	35.20
81-2-3			-25	—	31.56

表4 铝粉粒度对压强指数的影响

固体含量 (%)	粘合剂系统 含量 (%)	铝粉粒度 (μm)	平均压强 指数	标准偏差	统计数
86	14	30	0.32	0.03	37
85	15	50	0.34	0.03	23

4 结果讨论

复合固体推进剂燃烧时,首先是粘合剂受热分解,其次分解产物及其它熔化物在表面形成很薄的熔融反应层,铝在反应层内被加热,由于铝的熔点为 933K,而 Al_2O_3 的熔点为 2323K,铝粉粒子在加热时,冲破 Al_2O_3 的作用力,逐渐熔融反应层,进入火焰前区,达到气相区,点燃燃烧。

铝凝滴燃烧持续时间由经典的微滴燃烧定律 $t=KD_0$ 计算,50、30、16 μm 铝粉持续燃烧时间分别为 4.70×10^{-3} 、 1.92×10^{-3} 、 $6.40\times 10^{-4}\text{s}$,可见 50 μm 铝粉燃烧时间最长。长时间燃烧,可以提高燃温,辐射到固相区的热量增加,更加速了反应速度,使燃速相应增高。

计算相同重量的 50、30 μm 铝粉的 Al_2O_3 含量,50 μm 铝粉表面的 Al_2O_3 比 30 μm 铝粉少一个数量级,相应的铝含量要多一个数量级。而 Al_2O_3 的熔化温度比铝要高 1400°K。因此,50 μm 铝粉吸收的热量少,放出的热量高,所以 50 μm 铝粉的推进剂燃温相对高一些,这样也有利于推进剂燃速的提高。

5 结 论

50 μm 铝粉在较高燃速的推进中比细铝粉有利,与 AP 组成合理的级配,明显改善药浆流变性,有利于提高燃速。

参 考 文 献

- [1] 杨可喜. 混合粉粒体的空隙率计算. 化学工程, 1985 (6)
- [2] Hartman K O. Combustion Kinetics of Aluminium Particles in Propellant Flames. A71-31633 (Wss/cl 71-24)