

GAP 包覆硼对硼固体推进剂燃烧特性的影响*

范红杰, 王宁飞, 关大林

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘 要: 采用 CO₂ 激光点火装置研究了 GAP 包覆硼对含硼推进剂点火性能的影响, 并采用扫描电镜 (SEM) 观察分析了燃烧残留物。结果表明, GAP 包覆硼在较高的压力下能改善含硼推进剂的点火性能, 而且能够改善含硼推进剂的燃烧残渣分散性。

关键词: 固体火箭推进剂; 硼; 包覆; 推进剂点火; 推进剂燃烧

中图分类号: V512 文献标识码: A 文章编号: 1001-4055 (2002) 03-0262-03

Effect of GAP coating boron on the ignition performance and combustion residues for boron-based propellants

FAN Hong-jie, WANG Ning-fei, GUAN Da-lin

(Xi'an Modern Chemistry Research Inst., Xi'an 710065, China)

Abstract: CO₂ laser ignition facilities were employed to study the effect of GAP coating boron on the ignition characteristics of boron-based propellants. Other methods were used to study the combustion residues. Results show that the method of GAP coating boron can increase the ignition ability and the combustion residues dispersion of boron-based propellants.

Key words: Solid rocket propellant; Boron; Cladding; Propellant ignition; Propellant combustion

1 引 言

为提高含硼推进剂的性能, 目前在改善硼的点火和燃烧性能研究途径中, 对硼进行包覆是一种比较好的方法。LIU Tai-kang 等^[1]研究了 LiF, Viton A 和硅烷等不同的包覆材料对含硼推进剂的影响; 李疏芬等^[2]采用程序升温法研究了 AP 包覆硼对含硼推进剂的点火性能的影响; GAP 包覆硼是一种新的方法, Shyu Ing-Ming 等^[3]初步研究了 GAP 包覆硼对含硼推进剂的燃烧的影响。

本文设计了 GAP 包覆硼的技术方案, 用 GAP 包覆硼制成了贫氧推进剂样品, 并采用 CO₂ 激光点火装置研究了样品的点火性能, 同时利用扫描电镜对含 GAP 包覆硼的推进剂的燃烧残留物进行了观察分析。

2 试 验

以无定形国产硼粉为原料, 纯度约 90%, 平均粒径 300 目左右, 采用丙酮作溶剂, 利用沉积法制备

GAP 包覆的硼粉。试验采用 B/AP/Al/HTPB 配方, 硼含量 30%, Al 含量 10%; 采用淤浆浇铸法准备了两个试样, 样品 1-1 中的硼未经处理, 样品 1-2 中的硼粉经 GAP 包覆处理。

整个试验装置系统由 CO₂ 激光器、光路匀化系统、点火控制系统、试验容器以及冷却装置和 Kodak Ektapro 高速运动分析仪等组成。CO₂ 激光器作为点火能源, 激光波长 10.6 μm, 最大功率 50 W, 连续可调。由于激光器发出的光束传输轴线附近近似为一非均匀的球面波, 其振幅和强度横截面内始终保持高斯分布特性, 使得热流不能均匀分布, 采用光路匀化系统可以消除这种因素的影响。

试验过程中, 将试样放入试样容器内的试样台上, 调节激光功率控制器, 得到所需的热流。启动激光点火控制器, 发出点火信号, 同时高速录像机开始工作。Kodak Ektapro 高速运动分析仪将摄像镜头拍摄到的光学信号转化成电信号, 并以二进制文件形式存入分析仪的内存之中, 内存中的图像数据

* 收稿日期: 2001-03-09; 修订日期: 2001-06-12。

作者简介: 范红杰 (1975—), 男, 硕士, 研究领域为固体推进剂。

通过视频接口输出到监视屏上, 利用 Kodak Ektapro 高速运动分析仪附带的运动分析软件对高速运动图像进行分析处理, 得到点火延迟时间。

3 结果和讨论

3.1 GAP 包覆硼对含硼推进剂点火性能的影响

在空气环境中, 热流量为 117 W/cm^2 , 不同压力下含硼推进剂的点火延迟时间列于表 1 中。从表 1 的结果可看出, 采用 GAP 包覆硼对含硼推进剂的点火延迟时间有一定的影响。在常压及 0.07 MPa 时, 硼粉经 GAP 包覆后, 推进剂的点火延迟时间有所减小, 但在 0.03 MPa 时, 推进剂仅有热解而并无火焰出现, 且推进剂开始热解的时间却是样品 1-2 大于样品 1-1。结果表明, 在常压及 0.07 MPa 下, GAP 包覆硼可降低含硼推进剂的点火延迟时间, 从而改善含硼推

进剂的点火性能。

Table 1 Ignition delay times of boron-based propellants in which boron was coated with or without GAP s

Samples	0.03 MPa	0.07 MPa	0.1 MPa
1-1	2.663	2.472	0.917
1-2	4.463	1.637	0.861

3.2 燃烧残留物的 SEM 观察

由于 GAP 包覆的量较少, 含 GAP 包覆硼的推进剂燃烧火焰结构同含未处理硼的推进剂燃烧火焰结构并无多大区别。图 1 中 (a) 和 (b) 分别为样品 1-1 和 1-2 的燃烧残留物的 SEM 照片, 对应的燃烧残留物定量分析结果见表 2。

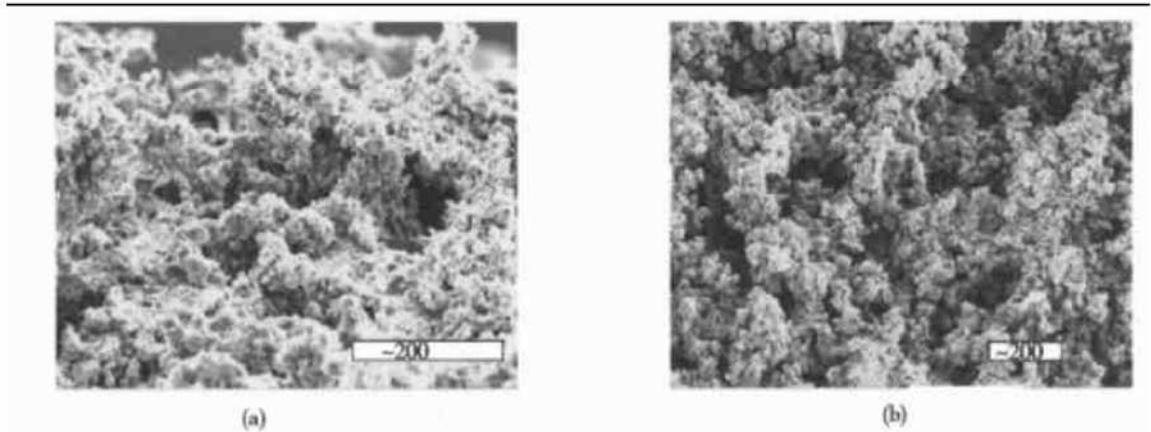


Fig. 1 SEM photos of combustion residues of samples 1-1 and 1-2
(a) 200 × 10 kV; (b) 100 × 10kV

Table 2 Analyzed results by EDS of samples 1-1 and 1-2 %

Samples	C	O	Al	AP
1-1	13.7	60.1	24.2	2.06
1-2	18.6	59.6	20.2	1.7

从图 1 的 SEM 照片和表 2 中数据可看出, 当样品中的硼用 GAP 包覆时, 由于 GAP 第一步分解放出的热的影响, 使得样品 1-2 比样品 1-1 中的 AP 和铝都有较大的消耗, 从而使得含 GAP 包覆硼的推进剂

有较高的燃烧效率。从燃烧残留物 1 000 倍的照片 (图 2) 可进一步看出, 样品 1-2 (图 2 (b)) 的燃烧残留物比样品 1-1 (图 2 (a)) 的疏松得多, 样品 1-1 的残留物结块严重, 表面有很多片状物和熔化又重新凝聚的铝。表明 GAP 包覆硼对含硼推进剂的燃烧效率有很好的促进作用。Shyu 等^[4]的研究也表明, 随 GAP 包覆硼的量增多, 含硼推进剂的燃烧效率提高; 采用 GAP 粘合剂时, 它的燃烧残留物更少, 而且推进剂具有较高的燃面温度和火焰温度, 均达到 1 300 K 左右^[5], 而采用 HTPB 粘合剂时其燃烧表面温度和火焰温度却远远低于 1 300 K^[3]。

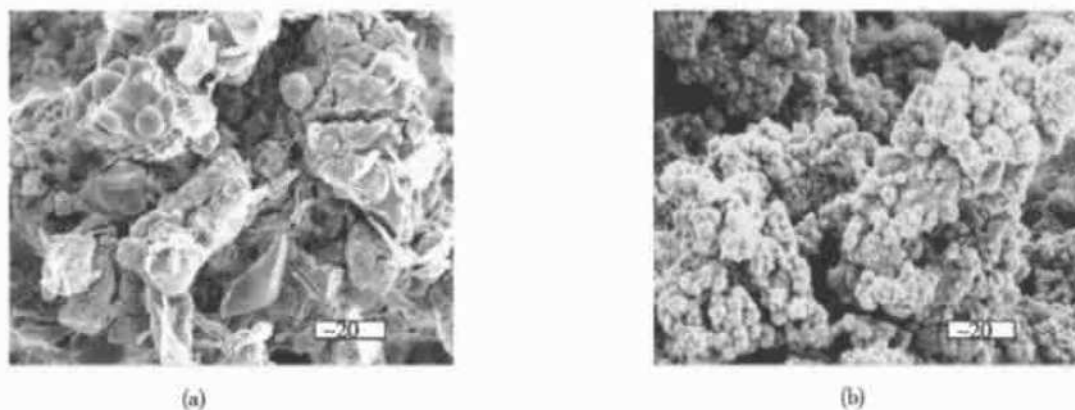


Fig. 2 SEM photos of combustion residues of samples 1-1 and 1-2

(a) $1\ 000 \times 10\text{ kV}$; (b) $1\ 000 \times 10\text{ kV}$

4 结 论

GAP 包覆硼粉可提高含硼推进剂的点火能力和含硼推进剂的燃烧残渣分散性,从而会提高含硼推进剂的燃烧效率和喷射效率;采用 GAP 作粘合剂也是解决含硼推进剂的燃烧问题的一个途径。

参考文献:

- [1] Liu T K, Luh S P, Perng H C. Effect of boron particle surface coating on combustion of solid propellants for ducted rockets

[J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 1991, 16: 156.

- [2] 李疏芬. 提高含硼固体燃料燃烧性能的研究[J]. 推进技术, 1997, 18(5).
- [3] Shyu I M, Liu T K. Combustion characteristics of GAP-coated boron particles and the fuel-rich solid propellants[R]. *The Proceedings of 25th ICT*, 1994.
- [4] Eisenreich N, Krause H H, Pfeil A, et al. Burning behavior of gas generators with high boron content[J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 1992, 17: 161.

(编辑: 盛汉泉)

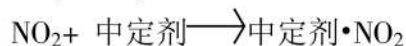
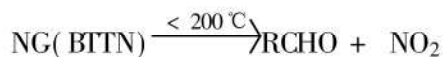
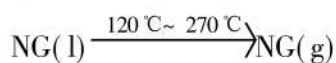
(上接第 251 页) 就会发生爆燃,而产生大量最终产物 H_2O 和 CO_2 。此后随着反应物的大大减少而使分解速率骤然下降。

研究中也发现, NEPE 粘合剂的热分解气体产物中 NO 和 CO 及 H_2O 的含量甚高, NO_2 甚少, 此外有 HCN 产生。

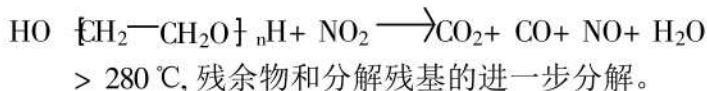
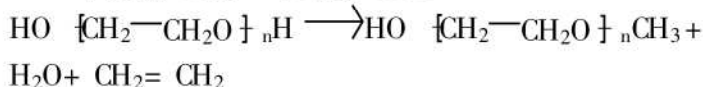
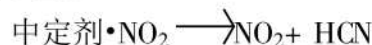
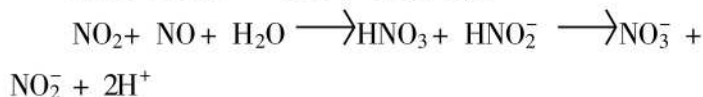
4 结 论

(1) 组分间的相互作用和影响使硝酸酯的挥发和分解温度推后, 聚醚和中定剂分解温度提前。

(2) NEPE 粘合剂的热分解可分为三个阶段: $< 270^\circ\text{C}$, 部分硝酸酯的挥发及初始分解, 中定剂消耗。



$270^\circ\text{C} \sim 280^\circ\text{C}$, 分解产物、组成物彼此间相互作用, 分解不断加速, 直至爆燃。



参考文献:

- [1] 卢 焱, 邢浴仁. 火炸药技术现状与发展[M]. 北京: 中国北方化学工业公司, 1995.
- [2] 李 丽, 赵凤起, 李上文等. 高压 DSC 研究 NEPE 推进剂的热分解[J]. 火炸药学报, 1997, 19(3): 11~14.
- [3] 刘 蓉. 高氮量硝化棉的热行为[D]. 西安近代化学研究所, 1997.
- [4] 王伯羲, 冯增国, 杨荣杰. 火药燃烧理论[M]. 北京: 北京理工大学出版, 1997.

(编辑: 盛汉泉)