

文章编号: 1006-9941(2010)01-0107-03

高能无烟改性双基推进剂中高压燃烧性能

付小龙, 邵重斌, 吴淑新, 樊学忠, 李吉祯, 蔚红建, 廖林泉

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘要: 研究了含铅盐、铜盐、炭黑等催化剂的高能无烟改性双基推进剂在中高压下(10~43 MPa)的燃烧性能。结果表明,在高压下推进剂的燃速随压强的升高而大幅升高;在25 MPa高能无烟改性双基推进剂燃速曲线出现拐点,燃速随压强升高而大幅提高;10~25 MPa范围内燃速催化剂对推进剂的燃烧性能有明显影响,NI-Pb/NI-Cu/CB将推进剂燃速提高75.16%(10 MPa),而在25~43 MPa范围内燃速催化剂对推进剂燃烧性能的影响明显减弱。

关键词: 应用化学; 高能无烟改性双基推进剂; 高压燃烧性能; 燃速催化剂

中图分类号: TJ55; O69

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.01.026

1 引言

提高固体推进剂的能量是推进剂研究者追求的永恒目标^[1-2]。推进剂高能化的方法一般有两种:一是在固体推进剂配方中添加新型高能量密度材料^[3-4],但这受制于更高能量新型含能材料的研发和应用;二是提高固体推进剂的工作压强。理论与实践均表明,工作压强升高,固体火箭和导弹发动机可获得更高的比冲和更大的推力,显著提高火箭和导弹发动机的性能^[5-6]。随着更高强度材料和耐烧蚀材料的研制成功,耐高压发动机壳体和喷喉的研制已成为可能,高压强固体火箭和导弹发动机技术成为国内外推进技术的重要发展方向^[7]。目前对推进剂燃烧性能的研究通常在火箭和导弹发动机的常用压强范围内^[8-9](22 MPa以下),而对高压下推进剂燃烧性能尚无系统研究。本文研究了中高压下(10~43 MPa)高能无烟改性双基推进剂的燃烧性能,为研制在高压下稳定工作的固体推进剂提供一定参考。

2 实验部分

2.1 主要原材料及主要设备

主要原材料:硝化棉(NC)、黑索今(RDX)、硝化甘油(NG)、燃速催化剂以及其他功能助剂。

主要设备:2 L行星式捏合机(中国)、静态恒压燃速仪(中国)、高压燃速仪(中国)。

2.2 推进剂基础配方及样品制备

根据推进剂高能、低特征信号和配方未来可工程化(力学性能和工艺性能等可满足实际需要)的要求,确定高能无烟CMDB推进剂的基础配方如表1所示。

表1 高能无烟CMDB推进剂的基础配方

composition	NC	NG	RDX	catalyst	others	%
content	22~26	30~35	30~35	3~5	5~9	

制备工艺:推进剂样品均采用淤浆浇铸工艺制备。将NC、RDX、NG、催化剂等推进剂各组分在2 L行星式捏合机中混合1 h左右,出料后经70 °C固化72 h,退模。

2.3 测试方法

推进剂燃速测定:燃速按GJB-770B-2005方法706.1“燃速-靶线法”测试。将推进剂样品制成5 mm×5 mm×100 mm药条并用聚乙烯醇包覆,利用静态恒压燃速仪和高压燃速仪在20 °C测定样品燃速。

3 结果与讨论

3.1 高能无烟CMDB推进剂的中压燃烧性能

选择含不同催化剂的高能无烟CMDB推进剂,测

收稿日期:2009-03-31;修回日期:2009-07-01

作者简介:付小龙(1982-)男,助理工程师,从事固体推进剂研究。

e-mail: fuxiaolong204@163.com

定其在 10 ~ 22 MPa 压强范围内推进剂的燃烧性能, 结果如表 2、图 1 所示。

表 2 高能无烟 CMDB 推进剂 10 ~ 22 MPa 范围内的燃烧性能

Table 2 The combustion characteristics of the high-energy smokeless CMDB propellant at 10 ~ 22 MPa

catalyst			$u/\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$					pressure exponent	
lead salt	copper salt	carbon black	10 MPa	13 MPa	16 MPa	19 MPa	22 MPa	n_{10-16}	n_{19-22}
none ¹⁾			13.97	18.01	22.00	25.52	28.92	0.97	1.08
NI-Pb	NI-Cu	CB	24.47	27.15	29.36	32.43	33.56	0.39	0.23
NI-Pb	NT-Cu	CB	23.47	26.22	28.69	31.45	32.47	0.43	0.22
NT-Pb	NI-Cu	CB	23.81	26.36	28.16	29.95	31.38	0.36	0.32
NT-Pb	NT-Cu	CB	22.04	24.43	28.43	30.29	31.29	0.54	0.22
B-Pb	B-Cu	CB	21.95	24.31	26.88	28.84	29.82	0.43	0.23
B-Pb	S-Cu	CB	23.00	25.31	26.11	26.78	28.31	0.27	0.38
S-Pb	A-Cu	CB	17.47	20.00	23.48	26.78	28.02	0.63	0.31

Note: 1) none is the high-energy smokeless CMDB propellant without catalyst.

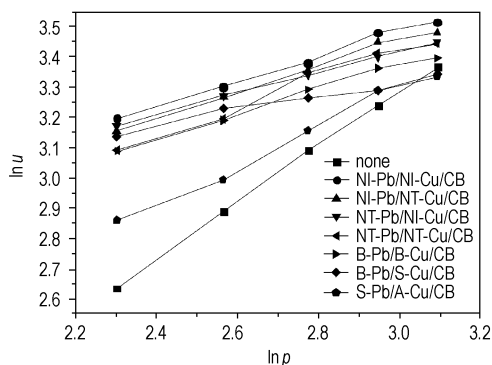


图 1 高能无烟 CMDB 推进剂 10 ~ 22 MPa 范围内的燃烧性能
Fig. 1 The combustion characteristic of high-energy smokeless CMDB propellant at 10 ~ 22 MPa

由表 2 和图 1 可看出, 在 10 ~ 22 MPa 压强范围内, 燃速催化剂对推进剂燃烧性能有明显影响。其中, NI-Pb/NI-Cu/CB 对提高高能无烟 CMDB 推进剂的燃速效果最为显著, 在 10 MPa 压强下推进剂燃速由 $13.97 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 提高到 $24.47 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, 增幅为 75.16%, 在 22 MPa 压强下将推进剂燃速由 $28.92 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 提高到 $33.56 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, 增幅为 16.04%, 且在 19 ~ 22 MPa 压强范围内压强指数较低为 0.23; 由图 1 可见, B-Pb/S-Cu/CB 对降低压强指数效果较为明显, 10 ~ 16 MPa 压强范围内压强指数约为 0.27; 而含 S-Pb/A-Cu/CB 调节推进剂压强指数范围较窄, 19 ~ 22 MPa 推进剂压强指数为 0.31。

由此可见, 不同燃速催化剂复配对高能无烟 CMDB 推进剂燃烧性能作用效果差别较大, 因此进一

步研究了更高压强下燃速催化剂的效果。

3.2 高能无烟 CMDB 推进剂的高压燃烧性能

根据以上研究结果, 选择四种能提高高能无烟 CMDB 推进剂燃烧性能燃速且压强指数较低的燃速催化剂, 测定五种高能无烟 CMDB 推进剂在 25 ~ 43 MPa 压强范围内燃烧性能, 结果见表 3。

为分析压强及燃速催化剂对高能无烟 CMDB 推进剂中压与高压下燃烧性能的影响, 将五种推进剂 10 ~ 43 MPa 下的燃速-压强对数曲线列于图 2。

表 3 高能无烟 CMDB 推进剂 25 ~ 43 MPa 范围内的燃烧性能

Table 3 The combustion characteristics of the high-energy smokeless CMDB propellant at 25 ~ 43 MPa

catalyst			$u/\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$					pressure exponent	
lead salt	copper salt	carbon black	25 MPa	30 MPa	35 MPa	40 MPa	43 MPa	n_{25-35}	n_{35-43}
none			30.87	34.82	38.31	42.21	44.63	0.64	0.74
NI-Pb	NI-Cu	CB	34.02	38.81	44.34	49.45	52.02	0.72	0.82
NT-Pb	NI-Cu	CB	32.09	37.64	42.68	47.56	51.09	0.87	0.81
NT-Pb	NT-Cu	CB	32.76	37.94	43.22	48.57	51.31	0.81	0.87
B-Pb	S-Cu	CB	30.08	35.07	39.75	45.40	48.01	0.84	1.00

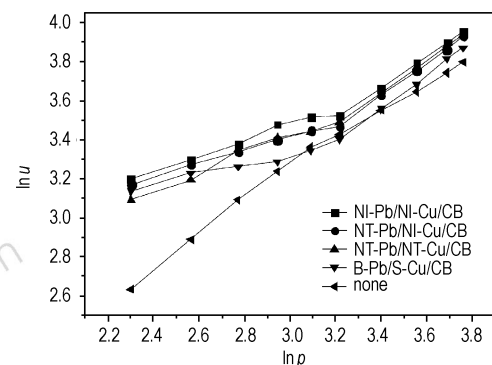


图 2 高能无烟改性双基推进剂 10 ~ 43 MPa 范围内的燃烧性能
Fig. 2 The combustion characteristic of high-energy smokeless CMDB propellant at 10 ~ 43 MPa

在 25 MPa 时四种含不同催化剂推进剂燃速曲线均出现拐点, 拐点后燃速随压强升高而显著提高。

在 25 ~ 43 MPa 五种高能无烟 CMDB 推进剂的压强指数均为 0.8 左右, 且燃速较为接近, 说明在较高压强下, 常用的燃速催化剂体系已不能有效调节高能无烟 CMDB 推进剂的燃烧性能。进一步寻找有效调节高能无烟 CMDB 推进剂高压燃烧性能的燃速催化剂成为研制在高压下稳定燃烧的固体推进剂的首要任务。

根据均质推进剂固相反应机理^[10]: 压强升高时, 推进剂火焰暗区变薄, 火焰趋近于燃烧表面, 热量反馈增加, 因此推进剂燃速增加; 当压强升高到一定程度(约为 25 MPa), 推进剂迅速分解, 化学反应更加剧烈, 燃烧加剧, 从而使推进剂燃速产生了一个阶跃式提高。

4 结 论

(1) 在 10 ~ 22 MPa 范围内, NI-Pb/NI-Cu/CB 提高高能无烟 CMDDB 推进剂的燃速效果显著, 在 10 MPa 压强下将推进剂燃速提高 75.16%, B-Pb/B-Cu/CB 对降低压强指数效果较为明显 10 ~ 16 MPa 范围内压强指数约为 0.27。

(2) 四种含不同催化剂的高能无烟 CMDDB 推进剂的燃速曲线均在 25 MPa 出现拐点, 25 ~ 43 MPa 燃速随压强升高而显著提高。

(3) 燃速催化剂对推进剂在 10 ~ 25 MPa 范围内的燃速有明显影响, 而在 25 ~ 43 MPa 范围内燃速催化剂对推进剂的燃烧性能的影响效果减弱, 在较高压强下, 常用的燃速催化剂体系已不能有效调节高能无烟 CMDDB 推进剂的燃烧性能。

参考文献:

- [1] Borman S. Advanced energetic materials emerge for military and space applications [J]. *Chemical & Engineering News*, January 17, 1994: 18 - 22.
- [2] 郑剑, 侯林法, 杨仲雄. 高能固体推进剂技术回顾与展望 [J]. *固体火箭技术*, 2001, 24(1): 28 - 34.
ZHENG Jian, HOU Lin-fa, YANG Zhong-xiong. The progress and prospects of high energy propellants [J]. *Journal of Solid Rocket*

Technology, 2001, 24(1): 28 - 34.

- [3] 胡焕性, 张志忠, 赵凤起, 等. 高能密度材料 3,4-二硝基咪唑基氧化咪唑性能及应用研究 [J]. *兵工学报*, 2004, 25(2): 155 - 158.
HU Huan-xiang, ZHANG Zhi-zhong, ZHAO Feng-qi, et al. A study on the properties and application of high energy density material DNTF [J]. *Acta Armamentarii*, 2004, 25(2): 155 - 158.
- [4] 张志忠, 姬月萍, 王伯周, 等. 二硝酰胺铵在火炸药中的应用 [J]. *火炸药学报*, 2004, 9(3): 36 - 41.
ZHANG Zhi-zhong, JI Yue-ping, WANG Bo-zhou, et al. Application of ammonium dinitramide in propellants and explosives [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2004, 9(3): 36 - 41.
- [5] 黄振亚. 含能材料应用 [M]. 南京: 南京理工大学出版社, 2004.
HUANG Zhen-ya. Application of Energetic Materials [M]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology Press, 2004.
- [6] 庞爱民, 郑剑. 高能固体推进剂技术未来发展展望 [J]. *固体火箭技术*, 2004, 27(4): 289 - 293.
PANG Ai-min, ZHENG Jian. Prospect of the research and development of high energy solid propellant technology [J]. *Journal of Solid Rocket Technology*, 2004, 27(4): 289 - 293.
- [7] Bottaro J C. Recent advances in explosives and solid propellants [J]. *Chemistry & Industry*, 1999, 4: 249 - 252.
- [8] 李上文, 孟燮铨, 张蕊娥. 硝酸无烟改性双基推进剂燃烧性能调节和控制规律初探 [J]. *推进技术*, 1995(3): 63 - 69.
LI Shang-wen, MENG Xie-quan, ZHANG Rui-e. A research on combustion properties adjustment and control for smokeless nitramine propellant [J]. *Journal of Propulsion Technology*, 1995(3): 63 - 69.
- [9] 张国东, 雷良芳, 单文刚, 等. 催化剂对浇铸 RDX-CMDB 推进剂燃烧性能影响的研究 [J]. *火炸药*, 1996(4): 1 - 3.
ZHANG Guo-dong, LEI Liang-fang, SHAN Wen-gang, et al. Effects of combustion catalysts on combustion properties of casting RDX-CMDB propellants [J]. *Explosives & Propellants*, 1996(4): 1 - 3.
- [10] 王宁飞, 汪亮. 改性双基推进剂催化特征燃烧现象的实验研究 [J]. *推进技术*, 1999, 20(6): 87 - 91.
WANG Ning-fei, WANG Liang. Experimental study on the combustion phenomenon of catalyzed modified solid propellants [J]. *Journal of Propulsion Technology*, 1999, 20(6): 87 - 91.

Combustion Characteristics of High-energy Smokeless Modified Double-base Propellant at Middle and High Pressures

FU Xiao-long, SHAO Chong-bin, WU Shu-xin, FAN Xue-zhong, LI Ji-zhen, YU Hong-jian, LIAO Lin-quan

(Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China)

Abstract: The combustion characteristics of the high-energy smokeless modified double-base propellant (HESMDB) at 10 - 43 MPa was studied. Results show that the burning rate of HESMDB increases with pressure enhancement. There is an inflexion point in the combustion curve of HESMDB propellant at 25 MPa, and then the burning rate of HESMDB increases rapidly. The effects of combustion catalyst is obvious on HESMDB at 10 - 25 MPa, and lessened at 25 - 43 MPa. NI-Pb/NI-Cu/CB enhances the burning rate of HESMDB 75.16% at 10 MPa.

Key words: applied chemistry; high-energy smokeless CMDDB propellant; combustion characteristics at high pressure; burning rate catalyst

CLC number: TJ55; O69

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.01.026