

文章编号: 1006-9941(2010)04-0372-05

PGN/ADN 推进剂的燃烧性能

尚冬琴, 黄洪勇

(上海航天动力技术研究所, 浙江 湖州 313000)

摘要: 采用靶线法在 3.0 ~ 15.0 MPa 压强范围内, 研究了固含量、铝粉含量、二硝酸铵(ADN)的粒径及含量、燃速调节剂及热稳定剂对 PGN/ADN 推进剂燃烧性能的影响。结果表明, ADN 的粒径 ($<450 \mu\text{m}$, $450 \sim 900 \mu\text{m}$) 和含量 (0% ~ 30%) 增加时, PGN/ADN 推进剂的燃速和压强指数均适当增加; 改变 Al 粉含量, PGN/ADN 推进剂的燃速和压强指数均无明显变化; 添加适量 (0.5%) 燃速调节剂 Fe_2O_3 可增加推进剂的燃速并降低压强指数, 添加适量 (0.5%) 燃速调节剂草酰胺可有效降低压强指数。添加适量稳定剂 (1%) 2-硝基二苯胺 (2-DNPA) 和 *N*-甲基-4-硝基苯胺 (MNA) 可以使推进剂的压强指数分别由 0.49 降低到 0.34 和 0.40。

关键词: 物理化学; 二硝酸铵(ADN); 聚缩水甘油硝酸酯(PGN); 燃速; 压强指数

中图分类号: TJ55; V512; O64

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.04.004

1 引言

二硝酸铵(ADN)作为一种新型无机氧化剂, 具有高能、高燃速和不含氯的特点, 能够满足高能固体推进剂低特征信号和环境友好的需求, 是复合固体推进剂中替代高氯酸铵(AP)的重要候选氧化剂^[1-2]。因此, ADN 的研究越来越引起人们的重视。国内外对 ADN 合成^[3-5]、性能^[6-10]、热分解性质^[11-14]以及含 ADN 三明治夹层结构的燃烧特性和在推进剂中应用做了较多的研究工作。

Pak^[2]研究发现 ADN 的燃速随着颗粒粒度的增大而增大。Fogelzang^[15]研究发现纯 ADN 在 2.0 ~ 8.0 MPa 范围内存在不稳定燃烧, 当加入 0.2% 石蜡时不稳定燃烧消失, 在此压力范围内呈现麦撒燃烧特征。翟进贤^[16]等发现在 3.0 ~ 12.0 MPa, 向 ADN + 0.2% 石蜡体系中加入 5% PbCO_3 , 其燃速提高, 同时麦撒燃烧特性消失。Weiser 等^[17]制备了一种 ADN 与石蜡比例为 90 : 10 的混合体系, 测得该体系在 7.0 MPa 下燃速为 $50 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 、压力指数为 0.8。Parr^[18-20]等研究了三明治夹层结构的 ADN/粘合剂的燃速, 结果表明其燃速主要由 ADN 控制。Price 等^[21]研究了 ADN

与 AP、Al、 Fe_2O_3 和聚丁二烯丙希腈(PBAN)的二元复合体系在 0.7 ~ 10.5 MPa 下的燃烧性能。结果发现: 片状 ADN 的燃速高于 AP 的燃速, 燃速压力敏感性低于 AP; ADN + Al 混合物压片的燃速高于纯 ADN 压片的燃速; 超细 Fe_2O_3 对 ADN 燃速没有催化作用; ADN/PBAN 夹层结构燃速高于片状 ADN 的燃速, 燃速压力敏感性相似; PBAN/ADN 和 PBAN/ADN/AP 两种复合推进剂, 在低压下的燃速低于纯 ADN 压片和 ADN/PBAN 夹层结构的燃速, 燃速压力敏感性则高得多。Korobeinichev 等^[22-23]对 ADN/HTPB 复合推进剂的燃烧特性进行了研究。

综上, 对含 ADN 推进剂燃烧特性研究报道很少。因此, 本课题组开展了聚缩水甘油硝酸酯(PGN/ADN)推进剂配方的燃烧性能研究。主要目的是了解固含量、Al 粉含量、ADN 粒径及含量、燃速调节剂及热稳定剂对 PGN/ADN 推进剂燃烧性能的影响。

2 实验

2.1 主要原材料

PGN, 羟值为 $0.63 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$, 数均相对分子质量 3688, 洛阳黎明化工研究院; *N*-丁基硝氧乙基硝酸酯(Bu-NENA), 相对含量 $>99.5\%$, 洛阳黎明化工研究院; ADN (粒径 $<450 \sim 900 \mu\text{m}$), 自制; AP (粒径: $180 \sim 280 \mu\text{m}$, $105 \sim 150 \mu\text{m}$), 大连保税区高佳化工国际贸易有限公司; Al 粉 (粒径: $29 \mu\text{m}$), 辽宁省盖

收稿日期: 2009-10-28; 修回日期: 2009-12-17

基金项目: 总装备部十一预研课题资助项目(51328050501)

作者简介: 尚冬琴(1986-), 女, 在读硕士生, 主要从事固体火箭推进剂配方研究。e-mail: shangdongqin@163.com

州市金属粉末厂;多官能度脂肪族异氰酸酯(N-100),洛阳黎明化工研究院;Fe₂O₃,分析纯,国药集团化学试剂有限公司;草酰胺(OXM),分析纯,上海化学试剂研究所;N-甲基-4-硝基苯胺(MNA),中试产品,洛阳黎明化工研究院;二硝基二苯胺(2-DNPA),中试产品,洛阳黎明化工研究院。

2.2 推进剂样品制

配方基本组成:ADN 0%~30%,AP 17%~47%,Al粉 13%~18%,PGN及N-100 23%~27%、Bu-NENA 8%~10%及其他组分 0.5%~1%。用3 L立式捏合机制药,50℃烘箱固化7 d得到PGN/ADN推进剂药柱。

2.3 燃速测试

燃速按GJB-770B-2005方法706.1“燃速-靶线法”测试。将5.0 mm×5.0 mm×100.0 mm的PGN/ADN推进剂药条在充氮气调压式燃速仪中采用靶线法测定其燃速,药条测试前侧面用丙酮包覆数次。测试温度25℃,测试压强为3.0~15.0 MPa,每个压强下测试不少于5根药条,通过统计处理求出平均燃速;根据维也里燃速方程 $r = ap^n$,通过线性回归法求出压强指数。

3 结果与讨论

3.1 固含量对配方燃烧性能的影响

据研究^[24]表明,PGN推进剂配方中固体组分质量分数在65%~75%时,其能量水平与大型运载火箭用的HTPB推进剂相似。另外,鉴于添加ADN之后,对推进剂药浆的流平性有不利影响,因此为了能制备出致密无气孔的药柱,本实验选择了60%、65%两种固含量(其中固定ADN含量为20%、Al粉含量为18%、同时改变AP的含量)进行配方试验。表1为不同固含量时PGN/ADN推进剂的燃烧性能结果。

从表1可以看出,在所研究的两种固含量情况下,固含量高的推进剂燃速高,但其在3.0~15.0 MPa压强区间的压强指数减小。固体推进剂在燃烧过程中,燃速的大小主要是由气相反应区反馈给凝聚相反应区的热量决定。同时,气相区的化学反应速度对压强的敏感程度远高于凝聚相,这导致了固体推进剂燃速压强指数的大小也主要由气相反应区对压强变化的敏感程度决定。配方中固含量的增加,体系中AP的量增加,有效氧含量增加,使燃烧更充分,由气相反应区向凝聚相反应区反馈的热量增加,故燃速增加;同时,AP

含量增加,推进剂在燃烧过程中的气相分解产物浓度增加,从而减弱了因压强升高时气相反应区速度的增加幅度,故推进剂的压强指数降低。

表1 不同固含量的PGN/ADN推进剂的燃烧性能

Table 1 Combustion properties of the PGN/ADN propellants with different solid contents

solid content /%	burning rate/mm·s ⁻¹					pressure exponent n ₃₋₁₅
	3.0 MPa	5.0 MPa	7.0 MPa	10.0 MPa	15.0 MPa	
60	3.88	5.33	5.38	7.39	9.18	0.53
65	4.29	5.52	6.13	7.42	9.63	0.49

3.2 Al粉含量对PGN/ADN推进剂燃烧性能的影响

选定了三种Al粉含量(其中固定固含量为65%、ADN含量20%、同时改变AP的含量)进行配方试验。不同铝粉含量配方的燃速与压强指数结果见表2。

由表2可以看出,Al粉含量增加(同时AP含量减少),PGN/ADN推进剂的燃速略有降低,考虑为AP含量减少使有效氧含量降低导致燃烧不充分引起燃速降低,认为Al粉的含量对配方燃速、压强指数的影响不大。一般认为,铝粉是在气相燃烧区下游才燃烧,其燃烧过程所释放的热量对推进剂的凝相反应影响很小,因此它不会对燃速有很大的影响;另一方面,铝凝团会在燃面与气相之间形成“热短路”,增加气相反热,使燃速有所提高,但总体而言,铝含量的改变对推进剂燃速影响很小。在复合推进剂中加入铝粉后,其燃烧过程将发生明显的改变,其中最显著的变化就是铝颗粒的结团,并使铝的燃烧时间显著增加,但对燃速并无多大影响^[25]。

表2 不同Al粉含量的PGN/ADN推进剂的燃烧性能

Table 2 Combustion properties of the PGN/ADN propellants with different aluminum contents

aluminium powder content /%	burning rate/mm·s ⁻¹					pressure exponent n ₃₋₁₅
	3.0 MPa	5.0 MPa	7.0 MPa	10.0 MPa	15.0 MPa	
13	4.44	5.81	6.47	7.63	10.12	0.49
15	4.26	5.57	6.37	7.27	9.41	0.47
18	4.29	5.52	6.13	7.39	9.63	0.49

3.3 ADN粒径对PGN/ADN推进剂燃烧性能的影响

不同ADN粒径配方的燃速与压强指数结果见表3。由表3可以看出,随着ADN粒径增加其燃速大幅增加,与AP推进剂的燃速随AP粒径的减小而增加不

同,这与文献[26]报道的结果一致。同时可以看出,ADN粒度的增加导致压强指数的剧烈上升,这是因为减小ADN的粒径,有利于推进剂燃烧表面的粘合剂熔化液覆盖到ADN颗粒的表面,从而降低ADN热分解过程对压强的敏感性,使推进剂有较低的压强指数。

表3 不同ADN粒径的PGN/ADN推进剂的燃烧性能

Table 3 Combustion properties of the PGN/ADN propellants with different ADN particle sizes

ADN particle size/ μm	burning rate/ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$					pressure exponent n_{3-15}
	3.0 MPa	5.0 MPa	7.0 MPa	10.0 MPa	15.0 MPa	
<450	4.29	5.52	6.13	7.39	9.63	0.49
450~900	5.14	9.18	13.18	20.43	26.71	1.05

3.4 ADN含量对PGN/ADN推进剂燃烧性能的影响

选定了四种ADN含量(其中固定固含量为65%、Al含量18%、同时改变AP的含量,ADN粒径<450 μm)进行配方试验,结果见表4。

图1是不同ADN含量的PGN/ADN推进剂的燃速与压强的曲线。从表4和图1可以看出,在配方中加入ADN之后,其燃速比不含ADN配方的燃速有很大提高,这主要是因为ADN的热分解温度(127 $^{\circ}\text{C}$ 左右开始分解)比AP低(270 $^{\circ}\text{C}$ 作用开始低温分解)而造成的。对于含ADN的配方在压强为7.0~15.0 MPa时,随着ADN含量增加,配方燃速明显增加,这是因为纯ADN的燃速比纯AP快^[15],于是燃速快的氧化剂决定了推进剂的燃速,ADN含量越高这种作用越明显。

3.5 燃速调节剂草酰胺、 Fe_2O_3 对PGN/ADN推进剂燃烧性能的影响

以固含量为65%(其中ADN含量为20%、Al粉含量为18%)的配方为基础,考察添加0.5% Fe_2O_3 、0.5%OXM对PGN/ADN推进剂燃烧性能的影响,实验结果见表5。

从表5可以看出, Fe_2O_3 可以提高推进剂的燃速,这与 Fe_2O_3 的加入降低了ADN的分解活化能有关(见表6),对比图2也可以看出含 Fe_2O_3 的配方放热量明显高于基础配方,这也导致燃速增加,并且压强指数较基础配方降低;低压下(<7.0 MPa)OXM的加入使ADN推进剂的燃速略有上升,这与OXM的加入增加了ADN的分解活化能应使燃速降低相违背,可能与低压下ADN燃烧不稳定有关,高压下OXM的加入使其燃速下降,压强指数降低很多。

3.6 稳定剂MNA、2-DNPA对PGN/ADN推进剂燃烧性能的影响

外界或者ADN自身产生的酸性物质会加速ADN分解从而降低其安定性,因此需要在配方中加入有机或无机碱来提高ADN及其配方的热安定性。稳定剂加入量由可接受的稳定效果与能量损失来确定,一般在1%左右。以固含量为65%(其中ADN含量为20%、Al粉含量为18%)的配方为基础,考察添加1% MNA、1% 2-DNPA对PGN/ADN推进剂燃烧性能的影响,实验结果见表7。从表7可以看出,稳定剂的加入对推进剂的燃速影响不明显,但是降低了压强指数,认为这与稳定剂改善了ADN的热稳定性有关。

表4 不同ADN含量的PGN/ADN推进剂的燃烧性能

Table 4 Combustion properties of the PGN/ADN propellants with different ADN contents

ADN content /%	burning rate/ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$					pressure exponent n_{3-15}
	3.0 MPa	5.0 MPa	7.0 MPa	10.0 MPa	15.0 MPa	
0	3.64	4.49	4.50	4.74	4.83	0.11
10	5.38	5.78	6.10	6.12	6.85	0.14
20	4.29	5.52	6.13	7.39	9.63	0.49
30	4.62	5.64	7.18	9.07	12.18	0.61

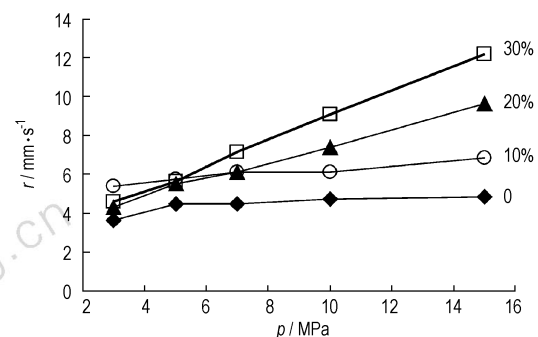


图1 不同ADN含量的PGN/ADN推进剂的燃速-压力曲线
Fig.1 Curves of burning rate vs pressure of the PGN/ADN propellants with different ADN contents

表5 含燃速调节剂草酰胺、 Fe_2O_3 的PGN/ADN推进剂的燃烧性能

Table 5 Combustion properties of PGN/ADN propellants with oxamide or Fe_2O_3

burning rate catalyst content /%	burning rate/ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$					pressure exponent n_{3-15}
	3.0 MPa	5.0 MPa	7.0 MPa	10.0 MPa	15.0 MPa	
0	4.29	5.52	6.13	7.39	9.63	0.49
Fe_2O_3 0.5	5.70	7.39	8.15	10.06	11.18	0.40
OXM 0.5	5.43	5.68	6.48	6.49	8.27	0.22

表 6 OXM、Fe₂O₃ 对 ADN 分解活化能的影响

Table 6 Effect of oxamide, Fe₂O₃ on decomposition activation energies of ADN

samples	ADN	ADN + Fe ₂ O ₃	ADN + OXM
E _a /kJ · mol ⁻¹	144.3	136.2	146.7

Note: mass ratio of ADN and Fe₂O₃ is 4 : 1, and mass ratio of ADN and OXM is 4 : 1.

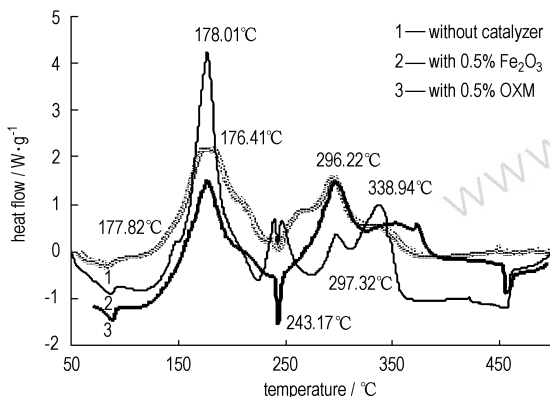


图 2 含 OXM、Fe₂O₃ 的 PGN/ADN 推进剂 DSC 曲线

Fig. 2 DSC curves of the PGN/ADN propellants containing oxamide or Fe₂O₃

表 7 含稳定剂 MNA、2-DNPA 的 PGN/ADN 推进剂的燃烧性能

Table 7 Combustion properties of the PGN/ADN propellants with heat stabilizer MNA or 2-DNPA

heat stabilizer content / %	burning rate / mm · s ⁻¹					pressure exponent n ₃₋₁₅
	3.0 MPa	5.0 MPa	7.0 MPa	10.0 MPa	15.0 MPa	
0	4.29	5.52	6.13	7.39	9.63	0.49
MNA 1	4.83	5.95	6.10	7.28	9.54	0.40
2-DNPA 1	5.20	5.96	7.38	7.60	9.85	0.34

5 结 论

(1) 增加配方中 ADN 的含量、增大 ADN 的粒径和加入 Fe₂O₃ 均可使 PGN/ADN 推进剂高压下的燃速升高,其中增大 ADN 的粒径效果最明显,可以使 PGN/ADN 推进剂的燃速由 9.63 mm · s⁻¹ (15.0 MPa,下同)增大到26.71 mm · s⁻¹,但其压强指数也由 0.49 增加到 1.05。

(2) 加入 OXM、2-DNPA、MNA 均可降低 PGN/ADN推进剂的压强指数;降低压强指数的效果是: OXM >2-DNPA >MNA。

参考文献:

[1] 王文俊. 新型含能材料及其推进剂的研究进展[J]. 推进技术, 2001,22(4): 269-275.
WANG Wen-jun. Advance on new energetic materials and its application to solid propellants[J]. *Journal of Propulsion Technology*, 2001,22(4): 269-275.

[2] Pak Z. Some ways to higher environmental safety of solid rocket propellant application[R]. AIAA-93-1755.

[3] 张志忠, 王伯周, 朱春华, 等. ADN 的合成研究(II)[J]. 含能材料, 2001,9(3): 97-99.
ZHANG Zhi-zhong, WANG Bo-zhou, ZHU Chun-hua, et al. Studies on synthesis of ADN(II)[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2001,9(3): 97-99.

[4] 刘愆, 王伯周, 张海昊, 等. ADN 无机法合成及分离纯化研究[J]. 含能材料, 2006,14(5): 358-360.
LIU Qian, WANG Bo-zhou, ZHANG Hai-hao, et al. Inorganic synthesis of ADN and its separation and purification[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2006,14(5): 358-360.

[5] 何利明, 肖忠良, 经德齐, 等. ADN 氧化剂的合成及其在推进剂中的应用[J]. 含能材料, 2008,16(2): 225-228.
HE Li-ming, XIAO Zhong-liang, JING De-qi, et al. Synthesis properties and applications of ammonium dinitramide[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2008,16(2): 225-228.

[6] 张腊莹, 衡淑云, 刘子如, 等. NC/NC 与 ADN 的相互作用[J]. 含能材料, 2009,17(1): 95-98.
ZHANG La-ying, HENG Shu-yun, LIU Zi-ru, et al. Interaction of NG/NC with ADN[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2009,17(1): 95-98.

[7] 胥会祥, 廖林泉, 刘愆, 等. 聚氨酯黏结剂包覆球形 ADN 的性能研究[J]. 含能材料, 2008,16(6): 712-714.
XU Hui-xiang, LIAO Lin-quan, LIU Qian, et al. Properties of prilled ammonium dinitramide (ADN) coated by polyurethane binders[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2008,16(6): 712-714.

[8] 岳璞, 衡淑云, 韩芳, 等. 三种方法研究 ADN 与几种粘合剂的相容性[J]. 含能材料, 2008,16(1): 66-69.
YUE Pu, HENG Shu-yun, HAN Fang, et al. Compatibilities of ADN with five kinds of binders[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2008,16(1): 66-69.

[9] 胥会祥, 陈智群, 赵风起, 等. 球形 ADN 日光光解特性研究[J]. 含能材料, 2007,15(1): 50-58.
XU Hui-xiang, CHEN Zhi-qun, ZHAO Feng-qi, et al. Characteristic of prilled ammonium dinitramide photolyzed with sun light[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2007,15(1): 50-58.

[10] 何少蓉, 张林军, 衡淑云, 等. 量气法研究 ADN 与 (NC + NG) 的相到作用[J]. 含能材料, 2008,16(2): 225-228.
HE Shao-rong, ZHANG Lin-jun, HENG Shu-yun, et al. Study on interaction of ADN and (NC + NG) by gasometric method[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2008,16(2): 225-228.

[11] Lobbecke S, Krause H H, Pfeil A. Thermal analysis of ammonium dinitramide decomposition[J]. *Propellants, Explosive, Pyrotechnics*, 1997,22: 184-188.

[12] 徐容, 聂福德, 刘春, 等. ADN 的热分解性能研究[J]. 含能材料, 2000,8(4): 175-177.
XU Rong, NIE Fu-de, LIU Chun, et al. Research of ammonium

- dinitramide decomposition [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2000, 8(4): 175–177.
- [13] Sergey V, Wight C A. Ammonium dinitramide Kinetics and mechanism of thermal decomposition[J]. *J Phys Chem A*, 1997, 101(31): 5653–5658.
- [14] 万代红, 符勤, 黄洪勇, 等. 燃速催化剂对 ADN 的热分解作用[J]. *火炸药学报*, 2006, 29(2): 72–75.
WAN Dai-hong, FU Qin, HUANG Hong-yong, et al. The effects of combustion catalyst on the thermal decomposition of ADN [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2006, 29(2): 72–75
- [15] Fogelzang A E, Stinditskii V P, Egroshev V Y, et al. Combustion behavior and flame structure of ammonium dinitramide[C]//The proceedings of 28th Int. Annu. Conf. ICT. Karlsruhe, FRG, June 24–27, 1997: 99. 1–99. 14.
- [16] 翟进贤, 杨荣杰, 李建国, 等. 碳酸铅催化二硝酰胺铵的燃烧特性和热分解行为研究[J]. *含能材料*, 2005, 13(6): 397–401.
ZHAI Jin-xian, YANG Rong-jie, LI Jian-min, et al. Combustion characteristics and thermal decomposition behavior of ammonium dinitramide catalyzed by lead carbonate[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2005, 13(6): 397–400.
- [17] Weiser V, Eisenreich N, Bayer A, et al. Abbrandverhalten Von ADN Mischungen[C]//Proc. of the 28th Int. Annu. Conf. of ICT, Karlsruhe, Germany 1997.
- [18] Parr T, Hanson-Parr D. ADN propellant diffusion flame structure [C]//The Proceedings of 29th JANNAF Combustion Subcommittee Meeting. CPIA Pub. 593, II, 1992: 313–327.
- [19] Parr T, Hanson-Parr D. ADN diffusion flame structure at elevated pressure[C] // The Proceedings of 30th JANNAF Combustion Subcommittee Meeting. CPIA Pub. 606, II, 1993: 1–13.
- [20] Parr T, Hanson-Parr D. Solid propellant diffusion flame structure [C] // 26th Symposium (International) on Combustion. The Combustion Institute, Pittsburgh, 1996: 1981–1987.
- [21] Price E W, Chakravathy S R, Freeman J M, et al. Combustion of propellants with ammonium dinitramide[R]. AIAA-98-3387.
- [22] Korobeinichev O P, Yang V, Brill T B, et al. Flame structure of solid propellant[C]//Progress in Astronautics and Aeronautics: Solid Propellant Chemistry, Combustion and Motor Interior Ballistics, 2000, 185: 335–354.
- [23] Korobeinichev O P, Bolshova T A, Paletsky A A. Modeling the chemical reactions of ammonium dinitramide (ADN) in a flame[J]. *Combustion and Flame*, 2001, 126: 1516–1523.
- [24] Cannizzo Louis F, Highsmith T K. A low cost synthesis of polyglycidyl nitrate[C]//The Proceedings 31st ICT. Karlsruhe: Institut Chemische Technologie, 2000.
- [25] 胡松启. 含硼富燃推进剂一次燃烧研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2004: 11.
HU Song-qi. Study on Primary combustion of boron-based fuel-rich propellant[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2004: 11.
- [26] 赵凤起, 李上文, 刘子如, 等. 俄罗斯 ADN 的热分解及其推进剂燃烧研究情况. *飞航导弹*, 1998, (6): 43–45.
ZHAO Feng-qi, LI Shang-wen, LIU Zi-ru, et al. Advances in study of thermal decomposition of ammonium dinitramide and combustion of ADN propellants of Russia [J]. *WINGED MISSILES JOURNAL*, 1998, (6): 43–45.

Combustion Properties of PGN/ADN Propellants

SHANG Dong-qin, HUANG Hong-yong

(Shanghai Aerospace Chemical Engineering Institute, Huzhou 313000, China)

Abstract: By using the target-line method, the effects of solid content, aluminum content, ammonium dinitramide (ADN) content and particle size, burning rate catalyst and heat stabilizer on the combustion properties of PGN/ADN propellants were studied during the pressure from 3.0 MPa to 15.0 MPa. Results show that the burning rate of PGN/ADN propellants increases from $9.63 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ to $26.71 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, of which the pressure exponent increases from 0.49 to 1.05 when the diameter of ADN increases from less than $450 \mu\text{m}$ to $450-900 \mu\text{m}$. On the other hand, the burning rate increases from $4.83 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ to $12.18 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, and the pressure exponent increases from 0.11 to 0.61 when the content of ADN increases from 0 to 30%. Aluminum had little effect on burning rate and pressure exponent. Burning rate increases 16.1% by adding Fe_2O_3 with 0.5% content. The pressure exponent drops to 0.22 by adding oxamide (OXM) with the same content as Fe_2O_3 ; simultaneously, the pressure exponent drops differently to 0.34 and 0.40 by adding 1% 2-nitrodiphenylamine (2-DNPA) and 1% *N*-methyl-4-nitroaniline (MNA) stabilizer separately.

Key words: physical chemistry; ammonium dinitramide (ADN); poly(glycidyl nitrate) (PGN); burning rate; pressure exponent

CLC number: TJ55; V512; O64

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.04.004