

文章编号: 1006-9941(2002)01-0004-06

# NEPE 推进剂燃烧性能调节技术研究

李静峰, 司馥铭

(内蒙古合成化工研究所, 内蒙古 呼和浩特 010010)

**摘要:** 研究了 NEPE 推进剂燃烧性能的影响因素和影响规律, 通过使用适量的高效降指剂、调整 AP、Al、HMX 用量和粒度、选择合适的增塑剂可有效地降低 NEPE 推进剂压强指数和调节燃速。

**关键词:** NEPE 推进剂; 推进剂燃烧性能; 压强指数; 降指剂

**中图分类号:** V512

**文献标识码:** A

## 1 引言

NEPE 推进剂是硝酸酯增塑的聚醚推进剂, 含有 HMX、硝酸酯等高能组分, 具有能量高、力学性能好的特点, 是当前实用的最高水平的固体推进剂, 美国已用于多种型号导弹中, 但大量 HMX 和硝酸酯的引入使推进剂的燃速压强指数明显提高, 燃速调节困难。美国的 NEPE 推进剂, 固体含量为 73% 的配方, 压强指数为 0.58; 固体含量为 80% 的配方, AP 粒径为 20  $\mu\text{m}$  时, 压强指数为 0.66; AP 粒径为 2  $\mu\text{m}$  时, 压强指数为 0.78<sup>[1]</sup>。对此, 国内外进行了许多研究, 虽取得了一些进展, 但没有重大突破, 改善 NEPE 推进剂燃烧性能有效而实用的途径不多, 需要进一步深入研究。本文介绍了我们近几年的研究进展情况。

## 2 技术途径选择

NEPE 推进剂打破了传统的双基和复合推进剂的界限, 综合了两者的优点, 既有双基推进剂的高能组分硝酸酯增塑剂, 又有复合推进剂中的聚合物粘合剂和 AP、Al、HMX 等固体组分, 因此原用于这两类推进剂中降低燃速压强指数的有效方法是否仍可用于 NEPE 推进剂中, 是本研究着重解决的问题。

首先, 最常用、最简单、对推进剂其它性能影响最小的方法是调节推进剂固体组分的粒度, NEPE 推进剂中含有 AP、Al 和 HMX 等固体组分, 因此, 首先应研

究这三种固体组分的粒度对 NEPE 推进剂燃烧性能的影响规律, 根据实际情况, 选择合适的粒度级配。

使用降低压强指数调节剂(以下简称降指剂)是另一种常用的有效方法, 但是由于 NEPE 推进剂中含有大量的硝酸酯, 使得原在丁羟推进剂中效果十分明显的二茂铁类、“潜在碱”类等降指剂变得不相容; 由于配方组成的变化, 使得原在双基推进剂中降指效果十分明显的某些铅铜盐也失效了, 因此, 必须根据 NEPE 推进剂的特点寻找新的降指剂。

根据硝胺推进剂燃烧性能分析, 可以认为, 含硝胺的复合推进剂、改性双基推进剂以及 NEPE 推进剂都和硝胺单元推进剂一样存在着硝胺单元推进剂火焰, 且决定其燃烧性能<sup>[2]</sup>。实验证明, 在双基推进剂或复合推进剂中, 加入 HMX 后压强指数均上升, 随着硝胺含量的增加, 硝胺对燃烧性能的影响程度也增加。NEPE 推进剂中 HMX 含量高达 40% 左右, 因此, NEPE 推进剂的燃烧性能主要取决于 HMX。硝胺热分解凝聚相及其表面的主要产物是  $\text{N}_2\text{O}$ 、NO、HCN、CO 和  $\text{CO}_2$  等, 它们在燃面附近反应活性均不高, 因而不能反馈给燃面足够的热量, 在这些推进剂的火焰结构存在着较厚的暗区, 因而在低压时, 表现出较低的燃速<sup>[3]</sup>, 但随着压强的上升, 暗区开始变薄, 燃速急剧增加, 因此, 导致其压强指数很高, 硝胺这种固有的热分解特性是 NEPE 推进剂燃速压强指数高的根本原因。据报道<sup>[3-5]</sup>, 胺类物质对硝胺热分解有催化作用, 它可以在距燃面很近的地方与硝胺分解产物  $\text{N}_2\text{O}$ 、NO 发生放热反应, 同时产生活性极强的 OH, 可使暗区厚度缩小并向燃面反馈足够热量, 从而提高硝胺的低压燃速, 降低压强指数。某些含—OH 的有机酸盐和某些含—CN 的物质降低压强指数的效果也较好, 应重点进行

收稿日期: 2001-11-15; 修回日期: 2002-01-29

基金项目: 国防科技预研项目(12.6.1.1)

作者简介: 李静峰(1943-), 男, 研究员, 长期从事固体推进剂研究; 司馥铭(1970-), 男, 工程师, 从事固体推进剂研究。

研究。单一降指剂可能效果不好,应考虑采用复合降指剂使其产生协同效应。

由于 HMX 是 NEPE 推进剂压强指数高的根本原因,因此应该研究 HMX 的含量对 NEPE 推进剂燃烧性能的影响规律,以便在可能的范围内尽量减少 HMX 的用量,增加 AP 的用量。

硝胺推进剂燃烧性能不仅取决于组分的理化性质,而且取决于燃面的物理状态,因而粘合剂对燃烧性能有重大影响<sup>[6]</sup>,应研究不同粘合剂体系对 NEPE 推进剂燃

烧性能的影响,为 NEPE 推进剂配方设计提供参考。

### 3 实验结果和讨论

#### 3.1 固体组分含量对 NEPE 推进剂燃烧性能的影响

NEPE 推进剂中有 AP、HMX 和 Al 三种有效固体组分,它们对燃烧性能的影响不同,可以通过调整其用量来调节 NEPE 推进剂的燃烧性能,我们重点研究了 AP 和 HMX 的用量变化对 NEPE 推进剂燃烧性能的影响,部分实验结果示于表 1 中。

表 1 固体组分含量对 NEPE 推进剂燃烧性能的影响

Table 1 Effect of contents of solid ingredients on combustion property of NEPE propellant

AP/%	HMX/%	Al/%	S/%	$r_b/\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$							$n$	$R$
				9 MPa	8 MPa	7 MPa	6 MPa	5 MPa	4 MPa	3 MPa		
12.5	44	18	74.5	8.89		7.18	6.44	5.53		3.68	0.800	1.000
15	42	18	75	9.30	8.52	7.22	6.77	6.04	5.16	4.20	0.706	0.996
16	41	18	75	9.78	8.53	7.75	6.93	6.16	5.29	4.39	0.708	0.997
17	40	18	75	9.89	8.81	8.02	7.21	6.38	5.43	4.59	0.692	0.998
18	39	18	75	9.93	9.01	8.18	7.36	6.51	5.70	4.81	0.656	0.998
19	38	18	75	9.95		8.38		6.72		4.91	0.642	0.999
20	37	18	75	9.87		8.33	7.51		5.94		0.624	0.999
18	37	20	75	9.97	9.08	8.22	7.46	6.63		4.89	0.642	1.000
25	31	20	76	11.12		9.29	8.51	7.66		5.84	0.578	0.998
30	28	18	76	11.56		10.07		8.44		6.66	0.501	0.999
24	33	20	77	10.69	9.94	9.24	8.38	7.49	6.56	5.67	0.584	0.999
25	32	20	77	11.04	10.17	9.42	8.49	7.69	6.81	5.81	0.581	0.999

注: S 为固体含量;  $r_b$  为燃速;  $n$  为燃速压强指数;  $R$  为相关系数。

从表 1 可以看出:

(1) 尽管总的固体含量有所变化(74.5% ~ 77%),但总的趋势是随着 AP 含量的增加、HMX 含量的减少,NEPE 推进剂的燃速升高,压强指数降低,AP 为 12.5% 时,  $n$  为 0.800; AP 为 24% 时,  $n$  为 0.584; 当 AP 升至 30% 时,  $n$  降至 0.501。

(2) 在固体含量 75%, Al 固定为 18% 时, AP 从 15% 上升到 20%, 相应 HMX 从 42% 下降到 37% 时, 压强指数从 0.706 下降到 0.624, 压强指数与 AP 质量分数  $\omega_{AP}$  的关系为:  $n = 0.993 - 0.0184\omega_{AP}$  ( $R = 0.969$ ); 5 MPa 时燃速与  $\omega_{AP}$  的关系为:  $r_{b(5\text{ MPa})} = 3.455 + 0.171\omega_{AP}$  ( $R = 0.996$ )。

(3) 固体含量 75%, AP 固定为 18% 时, Al 从 18% 上升到 20%, 而 HMX 从 39% 下降至 37% 时, 压强指数从 0.656 下降到 0.642, 燃速也有所提高, 符合 HMX 减少, 压强指数下降, 燃速升高的规律。

因此, 增加 AP 含量, 减少 HMX 含量是降低 NEPE

推进剂压强指数、增加燃速的有效途径之一, 应综合考虑推进剂的各项性能以确定各固体组分合适的用量。

#### 3.2 固体粒度对 NEPE 推进剂燃烧性能的影响

在其它条件保持不变的条件下, 我们分别研究了 AP、Al、HMX 的粒度对 NEPE 推进剂燃烧性能的影响, 部分实验结果示于表 2、表 3 和表 4 中。

表 2 AP 粒度对 NEPE 推进剂燃烧性能的影响

Table 2 Effect of AP particle size on combustion property of NEPE propellant

AP	$r_b/\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$						$n$	$R$
	$d_{43}/\mu\text{m}$	8 MPa	7 MPa	6 MPa	5 MPa	4 MPa		
340	7.71	6.77	5.86	5.08	4.06		0.911	0.999
120	8.96	7.98	6.97	6.13	4.79	3.84	0.872	0.999
28	10.12	9.17	7.83	6.70	5.76	4.62	0.804	0.998
10	12.79	11.35	10.18	8.96	7.66	6.20	0.727	1.000
1	15.78	13.96	12.02	10.04	8.32	6.82	0.868	0.998

注:  $d_{43}$  为质量平均粒度。

表3 Al 粒度对 NEPE 推进剂燃烧性能的影响

Table 3 Effect of Al particle size on combustion property of NEPE propellant

AP 含量 /%	Al $d_{50}^{1)}/\mu\text{m}$	$r_b/\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$							$n$	$R$
		9 MPa	8 MPa	7 MPa	6 MPa	5 MPa	4 MPa	3 MPa		
18	29	10.45	9.56	8.60	7.64	6.62	5.64	4.49	0.767	1.000
	24	10.18	9.36	8.46	7.52	6.57		4.37	0.771	1.000
	13	10.24	9.42	8.58	7.59	6.59	5.50		0.768	1.000
	6.54	9.87	9.03	7.97	7.18	6.30	5.36	4.41	0.732	0.999
	5.73	9.86	8.94	8.04	7.29	6.46	5.60	4.68	0.671	0.999
	4.8	9.97	9.08	8.22	7.46	6.63		4.89	0.642	0.999
	3.7	9.57	8.87	8.04	7.12	6.45	5.78	4.82	0.619	0.998
12.5	13.3 <sup>2)</sup>		11.29	9.89	8.63	7.24	5.27	4.15	1.05	0.997
	13		8.96	7.98	6.97	6.13	4.79	3.84	0.872	0.999
	3		9.08	8.07	7.09	6.03	5.22	4.17	0.788	0.999
	2		9.13	8.02	7.07	6.11	4.94	4.28	0.788	0.995

注: 1)  $d_{50}$  为中介粒度; 2) 非球形铝粉, 其它均为球形铝粉。

表4 HMX 粒度对 NEPE 推进剂燃烧性能的影响

Table 4 Effect of HMX particle size on combustion property of NEPE propellant

HMX $d_{43}/\mu\text{m}$	$r_b/\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$						$n$	$R$
	8 MPa	7 MPa	6 MPa	5 MPa	4 MPa	3 MPa		
70	8.96	7.98	6.97	6.13	4.79	3.84	0.872	0.999
33	8.62	7.48	6.53	5.56	4.54	3.67	0.870	0.999
20	8.76	7.76	6.74	5.69	4.72		0.897	1.000

从表2可以看出,随着AP粒度的降低燃速较明显地升高,7 MPa燃速,340  $\mu\text{m}$ 为6.77  $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 、1  $\mu\text{m}$ 时升至13.96  $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;而压强指数先是降低,随后反而升高,在目前试验过的样品中,以10  $\mu\text{m}$ 的AP压强指数最低,10  $\mu\text{m}$ 到1  $\mu\text{m}$ 之间粒度变化对压强指数的影响有待于进一步研究。

从表3可以看出:

(1) 在AP含量为18%的配方中,Al粒度在29~13  $\mu\text{m}$ 范围内压强指数无明显变化;粒度在6.54~3.7  $\mu\text{m}$ 范围内,压强指数随着粒度的减小明显

降低,大致符合 $n = 0.468 + 0.0382 d_{50}$ ,  $R = 0.955$ 的关系。

(2) 在AP含量为12.5%的配方中,Al粒度在13~2  $\mu\text{m}$ 范围内压强指数随Al粒度的减小较明显降低。

(3) 非球形铝粉比同粒度的球形铝粉,燃速和压强指数均明显偏高。

从表4可以看出,HMX粒度在70~20  $\mu\text{m}$ 范围内对NEPE推进剂的燃速和压强指数没有明显影响。

以上结果表明,使用细粒度的AP(10  $\mu\text{m}$ )和细粒度的Al(2~3  $\mu\text{m}$ )有利于降低NEPE推进剂的压强指数,使用细粒度的AP可明显提高NEPE推进剂的燃速。

### 3.3 增塑剂对 NEPE 推进剂燃烧性能的影响

在相同的条件下,研究了NG/BTTN、NG/DEGDN、NG/TEGDN、DEGDN四种硝酸酯增塑剂对NEPE推进剂燃烧性能的影响,它们的用量均相同,前三种为混合硝酸酯,其质量配比为1:1,实验结果示于表5中。

表5 增塑剂对 NEPE 推进剂燃烧性能的影响

Table 5 Effect of plasticizers on combustion property of NEPE propellant

序号	增塑剂	—ONO <sub>2</sub> mol /100 g 增塑剂	$r_b/\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$						$n$	$R$	
			9 MPa	8 MPa	7 MPa	6 MPa	5 MPa	4 MPa			3 MPa
1	NG/BTTN	1.283	13.88		11.80		9.46		7.27	0.589	0.998
2	NG/DEGDN	1.170	13.01	12.22	10.99	10.27	9.11	8.20	6.97	0.566	0.999
3	NG/TEGDN	1.077	12.31	11.69	10.85	10.13	8.93		6.96	0.527	0.999
4	DEGDN	1.020	10.60	10.05	9.22	8.61	7.89		6.14	0.497	0.999

注: NG,硝化甘油; BTTN,1,2,4-丁三醇三硝酸酯; DEGDN,一缩二乙二醇二硝酸酯; TEGDN,二缩三乙二醇二硝酸酯。

从表 5 可以看出,这四种推进剂中增塑剂的用量尽管相同,但硝酸酯基( $-\text{ONO}_2$ )的含量不同,顺序是: NG/BTN > NG/DEGDN > NG/TEGDN > DE-GDN。可以认为增塑剂中硝酸酯基的含量对 NEPE 推进剂的燃烧性能有影响,硝酸酯基含量越高,燃速和压强指数越高。

### 3.4 降指剂降低 NEPE 推进剂压强指数研究

#### 3.4.1 降指剂种类对 NEPE 推进剂压强指数的影响

选择合适的降指剂是降低压强指数的主要途径,根据 NEPE 推进剂组分热分解特性和已有的研究成果,并结合 NEPE 推进剂的性能特点,对三十余种带胺基、羟基、氰基等基团的降指剂进行了试验。表 6 列出了部分含 1.5% 降指剂的实验结果。

表 6 1.5% 降指剂对 NEPE 推进剂压强指数的影响

Table 6 Effect of 1.5% modifier of reducing pressure exponent on pressure exponent of NEPE propellant

降指剂	基团	$r_b/\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$							$n$	$R$
		9 MPa	8 MPa	7 MPa	6 MPa	5 MPa	4 MPa	3 MPa		
不含降指剂		9.93	9.01	8.18	7.36	6.51	5.70	4.81	0.656	0.998
RC <sub>1.5</sub>	胺基	9.02	8.28	7.75	6.96	6.17	5.48	4.63	0.606	0.999
RN <sub>1.5</sub>	胺基	9.85	9.10	8.25	7.50	6.55	5.84	4.97	0.626	0.998
RC <sub>1.0</sub> /RN <sub>0.5</sub>	胺基	9.40	8.65	7.81	7.06	6.37	5.60	4.90	0.595	0.996
RC <sub>0.7</sub> /RN <sub>0.8</sub>	胺基	9.37		8.00		6.54		4.93	0.583	1.000
RC <sub>0.5</sub> /RN <sub>1.0</sub>	胺基	9.58	8.75	8.03	7.21	6.52	5.66	4.78	0.627	0.999
GP <sub>1.5</sub>	胺基	9.76		8.10	7.33	6.48		4.71	0.659	0.999
RC <sub>1.0</sub> /GP <sub>0.5</sub>	胺基	8.95	8.39	7.59	6.99	6.28	5.43	4.61	0.607	1.000
RC <sub>0.7</sub> /GP <sub>0.8</sub>	胺基	9.16		7.60	7.03	6.04		4.65	0.615	0.996
RC <sub>0.5</sub> /GP <sub>1.0</sub>	胺基	9.42	8.52	7.65	7.03	6.27	5.46	4.65	0.633	0.998
MA <sub>1.5</sub>	羟基	10.15	9.32	8.34	7.48	6.64		5.04	0.637	0.996
RC <sub>1.0</sub> /MA <sub>0.5</sub>	胺基、羟基	9.44	8.64	7.85	7.13	6.39	5.62	4.71	0.624	0.999
RC <sub>0.7</sub> /MA <sub>0.8</sub>	胺基、羟基	9.38		7.99		6.45		4.78	0.614	1.000
RC <sub>0.5</sub> /MA <sub>1.0</sub>	胺基、羟基	9.74	8.96	8.06	7.27	6.51	5.65	4.78	0.647	0.999
RC <sub>1.0</sub> /FP <sub>0.5</sub>	胺基、氰基	8.27	7.63	6.96	6.36	5.59	4.94	4.21	0.617	0.999
RC <sub>0.5</sub> /FP <sub>1.0</sub>	胺基、氰基	8.41	7.85	7.11	6.42	5.68		4.22	0.633	0.999
RC <sub>0.7</sub> /CAP <sub>0.8</sub>	胺基、羟基	8.51	7.84	7.08	6.46	5.74		4.26	0.627	0.999
RC <sub>0.7</sub> /BP <sub>0.8</sub>	胺基	8.96	8.21	7.48	6.80	6.07	5.38	4.53	0.614	0.999

注:下角标数字代表降指剂的百分含量。

从表 6 可以看出:降指剂用量为 1.5%,单独使用时,RC 的降指效果最好,可使  $n$  降至 0.606;组合使用时,RC<sub>0.7</sub>/RN<sub>0.8</sub>,  $n$  为 0.583; RC<sub>1.0</sub>/RN<sub>0.5</sub>,  $n$  为 0.595; RC<sub>1.0</sub>/GP<sub>0.5</sub>,  $n$  为 0.607; RC<sub>0.7</sub>/MA<sub>0.8</sub>,  $n$  为 0.614; RC<sub>0.7</sub>/BP<sub>0.8</sub>,  $n$  为 0.614; RC<sub>0.7</sub>/GP<sub>0.8</sub>,  $n$  为 0.615; RC<sub>1.0</sub>/FP<sub>0.5</sub>,  $n$  为 0.617; 这几种降指剂降指效果较好。

#### 3.4.2 降指剂用量对 NEPE 推进剂压强指数的影响

降指剂用量在 0% ~ 2% 范围内,不同降指剂对 NEPE 推进剂压强指数的影响结果见表 7。

从表 7 可以看出,RC/RN 的降指效果最好,当 RC/RN 含量为 1% 时  $n$  降至 0.582,含量为 2% 时  $n$  降至 0.548;而含量为 1.8% 的三元降指剂的效果不如

RC/RN,  $n$  只能降至 0.590; 2% 含炭黑(CB)的降指剂效果更不好,  $n$  只能降至 0.60 左右。

表 8 列出了不同用量不同配比的 RC/RN 在不同 AP 含量的配方中的降指效果。

从表 8 可以看出,RC/RN 在不同的配方中,均有较好的降指效果。

### 3.5 NEPE 推进剂动态燃烧性能研究

为了解降指剂对 NEPE 推进剂动态燃烧性能的影响,逐步建立静态燃烧性能与动态燃烧性能的对应关系,我们用 Ø75 发动机装药进行研究,表 9 列出了 RC<sub>0.7</sub>/GP<sub>0.8</sub> 的实验结果。

表7 降指剂的用量对 NEPE 推进剂压强指数的影响

Table 7 Effect of modifier content of reducing pressure exponent on combustion property of NEPE propellant

降指剂	$r_b/\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$							$n$	$R$
	9 MPa	8 MPa	7 MPa	6 MPa	5 MPa	4 MPa	3 MPa		
不含降指剂	9.93	9.01	8.18	7.36	6.51	5.70	4.81	0.656	0.998
RC/RN <sub>1.0</sub> <sup>1)</sup>	9.34	8.52	7.73	6.99	6.28	5.57	4.94	0.582	0.994
RC/RN <sub>1.5</sub>	9.37		8.00		6.54		4.93	0.583	0.999
RC/RN/GP <sub>1.8</sub>	9.45		7.88		6.45		4.87	0.597	0.998
RC/RN/BALA <sub>1.8</sub>	9.49		8.02		6.58		4.94	0.590	0.999
RC/RN/MA <sub>1.8</sub>	9.50		8.05		6.56		4.93	0.595	0.999
RC/GP/CB <sub>2.0</sub>	9.12		7.96		6.43		4.64	0.620	1.000
RC/MA/CB <sub>2.0</sub>	9.78		8.34		6.73		4.94	0.622	1.000
RC/BP/CB <sub>2.0</sub>	9.73		8.29		6.77		5.00	0.604	1.000
RC/RN <sub>2.0</sub>	9.26		7.96		6.58		5.06	0.548	0.999

注: 1) RC、RN 经细化处理。

表8 RC/RN 对 NEPE 推进剂的降指效果

Table 8 Effect of RC/RN on reducing pressure exponent of NEPE propellant

AP 含量 /%	$n$ (3 ~ 9 MPa)			
	空白	RC <sub>0.7</sub> /RN <sub>0.3</sub>	RC <sub>0.7</sub> /RN <sub>0.8</sub>	RC <sub>1.2</sub> /RN <sub>0.8</sub>
12.5 <sup>1)</sup>	1.05		0.64	
18	0.656	0.582 <sup>2)</sup>	0.583	0.548
19	0.639		0.578	

注: 1) Al 为非球形, 其余为球形; 2) RC、RN 经细化处理。

从表 9 可以看出, 采用 RC<sub>0.7</sub>/GP<sub>0.8</sub> 降指剂时 NEPE 推进剂的静态压强指数降至 0.615, 动态降至 0.490。根据动态燃速公式计算 7 MPa 时动态燃速为 9.28 mm · s<sup>-1</sup>, 比静态要高 1.68 mm · s<sup>-1</sup>。

## 4 结论

(1) HMX 是 NEPE 推进剂燃速压强指数高的根本原因之一, 减少 HMX 的含量、增加 AP 含量是降低压强指数、提高燃速的途径之一, 压强指数和燃速与 AP 的含量具有较好的线性关系。

表9 NEPE 推进剂静态、动态燃烧性能

Table 9 Combustion property of static state and dynamic state of NEPE propellant

状态	$p/\text{MPa}$	$r_b/\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$							$a^{1)}$	$n$	$R$
		9	8	7	6	5	4	3			
静态	$\bar{p}_c/\text{MPa}$	8.471	8.226	7.818	6.343	3.435		7	2.32	0.615	0.996
	$r_b/\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$	9.16		7.60	7.03	6.04		4.65			
动态	$\bar{p}_c/\text{MPa}$	8.471	8.226	7.818	6.343	3.435		7	3.578	0.490	0.998
	$r_b/\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$	10.30	10.13	9.621, 9.28 <sup>2)</sup>	8.834	6.563					

注: 1)  $a$  为燃速公式  $r_b = ap^n$  中的燃速系数; 2) 计算值。

(2) HMX 的粒度在 20 ~ 70 μm 范围内对 NEPE 推进剂燃烧性能无明显影响, 而 AP、Al 粒度对 NEPE 推进剂燃烧性能有较明显的影响。随着 AP 粒度的减小燃速提高, 压强指数先是降低随后反而升高; 随着 Al 粒度的减小, 压强指数有降低的趋势。因此调节 AP、Al 粒度是改善 NEPE 推进剂燃烧性能的又一途径, 在已试验过的样品中, 以 10 μm AP、2 ~ 3 μm Al 压强指数最低。

(3) 粘合剂体系对 NEPE 推进剂的燃烧性能也有较明显的影响, 增塑剂中的硝酸酯基含量越高, 燃速和

压强指数越高。

(4) 含胺基、羟基、氰基的降指剂降低 NEPE 推进剂的压强指数效果明显, RC/RN (含胺基) 降指剂含量为 1% 可使静态压强指数从 0.656 降至 0.582, 含量为 2.0% 时  $n$  降至 0.548, 使用量为 1.5% 效果较好的降指剂还有 RC ( $n$  为 0.606), RC/GP ( $n$  为 0.607), RC/MA、RC/BP ( $n$  为 0.614), RC/FP ( $n$  为 0.617)。

(5) RC<sub>0.7</sub>/GP<sub>0.8</sub> 降指剂可使 NEPE 推进剂的动态压强指数降至 0.490, 动态压强指数比静态压强指数低 0.1 以上, 动态燃速比静态燃速高。

## 参考文献:

- [1] Hartman K O. High Performance Non-Embrittling Double - base Propellant[R]. AD-A103844 PP. 375 - 386.
- [2] 徐思羽. 含硝胺推进剂的弹道调节剂的研究前景[J]. 推进技术, 1989(4): 66.
- [3] 郑剑. 硝胺推进剂弹道调节剂的研究方向[J]. 推进技术, 1993(5): 46.
- [4] 王琼林, 杨艾宝. 硝胺发射药燃速压强指数转折及其改善途径[J]. 火炸药, 1994(1): 17.
- [5] АП 格拉兹润娃. 爆炸物燃烧的催化作用[M]. 马庆云译. 北京: 国防工业出版社, 1982.
- [6] 曹泰岳. 关于硝胺复合推进剂燃速特性和燃烧模型的述评[J]. 推进技术, 1989(3): 54.

## Study on Modification Technology of the Combustion Property of the NEPE Propellant

LI Jing-feng, SI Fu-ming

(Synthetic Chemical and Engineering Institute of Inner Mongolia, Huhehot 010010, China)

**Abstract:** The influencing factor and the influence law of the combustion property of the NEPE propellant were studied. Using an amount of high effective modifiers of reducing pressure exponent, changing the contents and the particle sizes of AP, Al, HMX and selecting suitable plasticizers can obviously reduce the pressure exponent of the NEPE propellant and effectively adjust the burning rate.

**Key words:** NEPE propellant; propellant combustion property; pressure exponent; modifier of reducing pressure exponent

\*\*\*\*\*

### 欢迎订阅 2002 年《爆破》杂志

《爆破》杂志是 1984 年创刊的全国性科技期刊, 国内外公开发行, 主要刊登国内外爆破领域的理论研究、科技动态、工程设计、施工技术、安全防护与管理、产品开发及其相关新成果、新技术和新工艺。主要内容有拆除爆破、采掘爆破、硐室爆破、特种爆破、爆炸与加工、爆破器材、爆破安全、凿岩机械、爆破仪器、爆破测试技术等, 并报导相关会议消息、书讯和发布广告等。可供从事爆破科研、教学、设计、施工和安全管理等单位的广大工程技术人员、管理干部和大专院校师生阅读参考。

《爆破》是全国中文核心期刊, 列为中国科学引文数据库、中国科技论文统计源期刊, 并进入《中国期刊网》, 为中国学术期刊(光盘版)理工类 C 辑全文收录。

期刊的一批优秀论文已被美国 EI、CA 等检索刊物收录。《爆破》为季刊, 每年 4 期, 每季末月 25 日出版, 每期约 16 万字, 定价 8 元, 全年 32 元(含邮费)。

如需订阅, 请填好订单寄回, 并通过邮局汇款到编辑部。

欢迎您为《爆破》撰稿, 欢迎您订阅本刊!

\*\*\*\*\*