

新型双基推进剂综合性能的研究*

马 玉 英

(兴安化学材料厂, 太原, 030003)

摘 要: 介绍一种新研制的无溶剂螺压双基推进剂, 其比冲为 $2256\text{N}\cdot\text{s}/\text{kg}$, 燃速突破了 $40\text{mm}/\text{s}$, 压力指数小于0.5, 采用Pb-Cu-Ni-C.B四元催化剂。

主题词: 双基推进剂, 推进剂性能, 推进剂燃速, 燃烧催化剂

分类号: V512.2

AN INVESTIGATION ON COMPREHENSIVE CHARACTERISTICS OF A NEW DOUBLE-BASE PROPELLANT

Ma Yuying

(Xing'an Chemical Material Factory, Taiyuan, 030003)

Abstract: A non-solvent screw double-base propellant, with characteristics of specific impulse $2256\text{N}\cdot\text{s}/\text{kg}$, burning rate $40\text{mm}/\text{s}$ and pressure exponent is 0.5, developed by Xing'an chemical material factory is presented in this paper. In this propellant Pb-Cu-Ni-C.B catalyst is applied.

Subject terms: Double base propellant, Propellant property, Propellant burning rate, Combustion catalyst

1 前 言

新型双基推进剂 HNR-40 的比冲为 $2256\text{N}\cdot\text{s}/\text{kg}$, 燃速为 $40\text{mm}/\text{s}$, 压力指数小于0.5。这是目前国内无溶剂螺压双基推进剂中, 采用加催化剂方法所获得的燃速最高的推进剂品种。

HN-40推进剂在双基组份中加入了硝化二乙醇胺(DINA)及少量Al(兼作稳定剂), 因此能量较高。为了达到提高燃速及降低压力指数的目的, 选用了新型高燃速催化剂, 使双基推进剂燃速首次突破 $40\text{mm}/\text{s}$ 。HN-40推进剂的工艺加工性能优良, 可压制出不同形状、不同肉厚的装药, 能满足多种战术技术指标的需要。

* 本文1994年1月10日收到

2 实验研究

2.1 基本组份的确定及燃速估算

为了提高推进剂的能量, 在提高硝甘含量及硝棉含氮量的基础上, 加入了硝化二乙醇胺及少量 Al, 使 HNR-40 推进剂比冲突破 $2256 \text{ N} \cdot \text{s}/\text{kg}$ 。基本组成及燃速估算见表 1。

Table 1 Propellant Constitution and burning rate estimation

Component No.	NC (%)	NG+DINA (%)	Al (%)	I_{sp} ($\text{N} \cdot \text{s}/\text{kg}$)	I_{spd} ($\text{N} \cdot \text{s}/\text{kg}$)	$u_o^{(1)}$ (mm/s)	$u_m^{(2)}$ (mm/s)
1 [#]	43.7	43	6	2545	2264	17.2	37.84
2 [#]	42.7	43	7	2563	2282	17.8	39.16
3 [#]	44.7	44	6	2251	2270	17.3	38.01
4 [#]	41.7	44	7	2568	2286	18.20	40.01
5 [#]	44.2	44	5	2541	2261	18.40	40.48

1) u_o ——Burning rate of the non-catalytical propellant

2) u_m ——Maximum burning rate of the propellant

在满足比冲为 $2256 \text{ N} \cdot \text{s}/\text{kg}$ 的前提下, 考虑推进剂的综合性能, 选用 5[#] 配方为基础, 进行燃烧性能的实验研究。

2.2 非催化配方的燃烧性能

根据燃速估算的经验式 $u_m = 2.2u_o$, 只有 $u_o > 18 \text{ mm}/\text{s}$ 时, u_m 才能达到 $40 \text{ mm}/\text{s}$ 以上, HNR-40 推进剂非催化配方在不同压力下的燃速为: 10.28 (4.90 MPa)、 13.33 (6.86 MPa) 和 18.01 (9.8 MPa) mm/s , 压力指数为 0.809 。试验结果表明, 要提高燃速及降低压力指数主要靠催化剂的作用, 所选用的催化剂应能提高高压端的燃速及大幅度提高低压端燃速才能达到预期的目的。

3 提高燃速的探索

推进剂燃速可表示为:

$$u = \frac{\lambda_p (dT/dx)_s}{9 \cdot C_p \cdot (T_s - T_o \frac{Q_s}{C_p})}$$

式中: λ_p ——推进剂热传导系数; C_p ——推进剂比热; ρ ——推进剂密度; T_o ——推进剂初温; T_s ——推进剂燃烧表面的温度; $(dT/dx)_s$ ——推进剂燃烧表面的温度梯度; Q_s ——单位质量推进剂在凝聚相内的热效应。

由上述公式可见, 提高 Q 有助于 u 的提高。故加入燃烧催化剂可提高 Q , 从而提高燃速。

3.1 提高推进剂的爆热

对 HNR-40 推进剂, 可通过提高硝化甘油含量来提高爆热 (见表2)。

Table 2 Relation between NG% and burning rate

$\frac{NG}{(\%)}$	$\frac{C_t}{(\%)}$	$\frac{u}{(mm/s)}$	$\frac{Q}{(kJ/kg)}$
31	5.3	29.95	5095
35	5.3	36.04	5267
39	5.3	40.10	5396

3.2 催化剂的影响

对于高爆热的推进剂, 一般采用铅盐、铜盐及碳黑组成的三元复合催化剂系统, 其燃速可达36~38mm/s, 如果在此基础上, 再加入新型催化剂镍盐, 可使燃速达到40~42mm/s, (见表3、表4)。HNR-40推进剂采用了铅-铜-镍-碳四元催化系统, 保证了其燃速稳定在40mm/s以上, 压力指数在0.5以下。

Table 3 Relation between Pb-Cu-CB catalytical system and burning rate

$\frac{Pb-salt}{(\%)}$	$\frac{Cu-salt}{(\%)}$	$\frac{Carbon\ black}{(\%)}$	$\frac{u}{(mm/s)}$	n
2.5	0.5	0.7	36.74	0.363
3.5	0.5	0.7	38.01	0.398
3.8	0.7	0.7	36.31	0.456
4.0	0.5	0.7	37.19	0.371

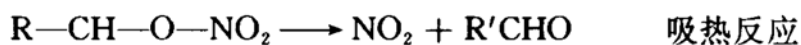
Table 4 Relation between Pb-Cu-Ni-CB catalytical system and burning rate

$\frac{Pb-salt}{(\%)}$	$\frac{Cu-salt}{(\%)}$	$\frac{Ni-salt}{(\%)}$	$\frac{Carbon\ black}{(\%)}$	$\frac{u}{(mm/s)}$	n
3.8	0.7	0.7	0.7	40.20	0.438
4.0	0.5	0.4	0.7	40.36	0.394
4.0	0.5	0.7	0.7	41.29	0.397
4.0	0.5	1.0	0.7	41.86	0.383

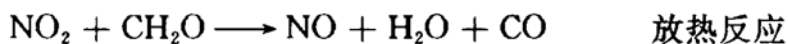
Pb-Cu-Ni-C. B 四元催化剂的演化作用原理, 可做如下解释:

双基推进剂的燃烧反应分为五区,即固相加热区、凝聚相反应区、嘶嘶区、气相反应区等,Pb-Cu-Ni-C.B 四元催化剂的催化作用主要在凝聚相反应区、嘶嘶区及气相区:

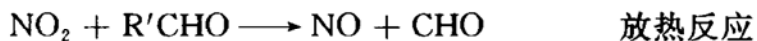
在凝聚相反应区内的化学反应



(R 代表 NC,NG 等硝酸酯类物质)



在嘶嘶反应区内



在气相区内



其中 NO_2 含量对燃速的影响十分重要,从下列公式中可以看出:

$$u = a_1 \exp(b y_{NO_2})$$

式中 a_1, b 为常数, y_{NO_2} 为 NO_2 的质量分数。

铅盐的催化作用在凝聚相反应区。在此反应区内铅盐的分解产物 PbO 加速了硝酸酯类的分解,产生了大量的 NO_2 ,从而提高了推进剂的燃速。在四元催化剂中,铅盐起主导催化作用。铜盐的分解产物 CuO 、 Cu_2O ,一方面加强了铅盐的催化作用,加速硝酸酯类的分解,另一方面铜盐还在气相区起催化作用,加快了 $NO + CHO \longrightarrow N_2 + CO_2 + CO + H_2O + H_2$ 的还原反应,使之放出大量热量,增加气相区向固相加热区的热传导,有助于提高燃速。而镍的络合物催化作用在嘶嘶反应区,分解产物 NiO 加快了 $NO_2 \longrightarrow NO$ 的还原放热反应,增加了从嘶嘶区向固相加热区的热传导。炭黑则能将推进剂分解的 NO 吸附在药柱表面,迫使 PbO 催化 $2NO + C \longrightarrow N_2 + CO_2$ 的反应。同时炭黑作为着色剂,可防止推进剂燃烧时因热辐射而产生裂隙引起不正常燃烧。可见,铜盐、镍络合物、炭黑起助催化作用,与铅盐组成 Pb-Cu-Ni-C.B 四元催化剂系统,即能达到提高燃速及降低压力指数的目的。

HNR-40 推进剂由于采用新型高燃速催化剂,使燃速稳定在 40mm/s 以上,压力指数在 0.5 以下,结果如图 1 和表 5、6 所示。

Table 5 Combustion characteristic of HNR-40 propellant

$\frac{u}{(\text{mm/s})}$ $T/^\circ\text{C}$	$\frac{p}{(\text{MPa})}$					
		9.81	12.75	14.71	16.67	19.61
+20		40.05	43.98	46.01	48.08	48.54
+20		40.98	45.04	46.80	48.86	49.34
+20		40.00	44.12	46.44	48.08	49.18

Table 6 Empirical formulae for burning rate

$u=u_1 p^n$ $p/(\text{MPa})$	No.	1	2	3
9.81~19.61		$u=20.854p^{0.291}$	$u=21.956p^{0.279}$	$u=20.080p^{0.307}$
12.75~19.61		$u=24.274p^{0.237}$	$u=25.853p^{0.221}$	$u=23.390p^{0.253}$
14.71~19.61		$u=28.570p^{0.180}$	$u=29.243p^{0.178}$	$u=27.480p^{0.196}$

4 结束语

(1) HNR-40推进剂是一种新型双基推进剂, 能量比一般双基推进剂高2%~15%, 燃速高1~3倍, 适用于各类反坦克火箭及导弹用装药。

(2) 采用 Pb-Cu-Ni-C.B 四元催化剂系统是提高 HNR-40推进剂燃速及降低压力指数的有效方法。

(3) HNR-40推进剂由于采用无溶剂螺压成型工艺, 其工艺过程简单, 便于连续化大生产。

(4) 螺压成型工艺是一般双基推进剂通用的工艺方法, 它具有质量均匀、性能稳定、贮存期长等优点, 因此具有广阔的使用前景。

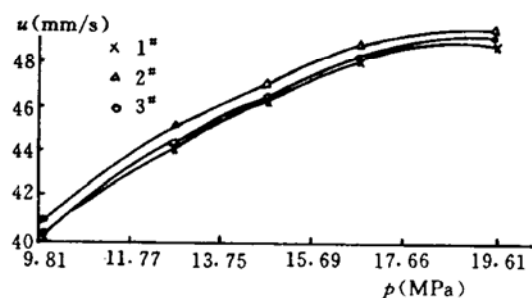


Fig. 1 Relation between burning rate and pressure

参 考 文 献

- [1] 李晓云. 一种新型催化剂在螺压双基系统中的应用. 西安近代化学研究所, 1987
- [2] 马玉英. 过渡元素络合物在双基推进剂中催化作用的研究. 兴安化学材料厂, 1990