

# 提高螺压双基推进剂能量的探讨

马玉英

(山西太原兴安化学材料厂,太原 030008)

**摘要** 本文以不改变螺压工艺为前提条件,就提高螺压双基推进剂能量的途径进行了探讨,其目的是使该类推进剂实测比冲能达到较高水平;同时也阐述了发动机结构及装药条件对比冲的影响。结果表明,只要配方设计合理,其实测比冲可超过  $2354\text{N}\cdot\text{s}/\text{kg}$ ;而合理的发动机结构及装药条件亦是提高比冲效率的重要因素。

**关键词** 比冲 比冲效率 能量特性 双基推进剂

## 1 引言

推进剂作为武器的发射能源,其工作过程是实现能量转换,使推进剂的化学能通过燃烧释放出来,并生成高温高压气体,以推动火箭飞行。就推进剂而言,其能量特性主要指比冲及比冲效率等,比冲主要决定于推进剂本身,而比冲效率则取决于推进剂和发动机二者的特性<sup>[1]</sup>。本文研究的内容是在螺旋挤压(螺压)工艺的前提下,在推进剂的配方中不添加过氯酸铵,而是加入 RDX、吉纳(DINA)和铝粉等高能组分以达到提高推进剂能量的目的。

## 2 提高螺压双基推进剂能量的主要途径

推进剂的能量一般用参数比冲来表示,比冲的近似表达式如下:

$$I_s \propto \sqrt{T_p/M} \quad (1)$$

式中,  $I_s$  为推进剂比冲;  $T_p$  为推进剂燃烧温度,  $T_p = 2.52Q_v(1) + 120$ ,  $Q_v(1)$  为推进剂的爆热(1表示液态);  $M$  为推进剂燃烧产物的平均分子量。

由此可看出,要提高推进剂比冲,就需提高推进剂的燃温或爆热,并降低燃烧产物的分子量。其主要途径是:

a. 加入高热值的轻金属粉如铝粉和硼粉等。因为它们燃烧时可放出大量的热,使  $T_p$  增高,  $I_s$  也相应提高;

b. 加入高热值炸药如 RDX 和 HMX 等,这些组分具有正生成热,用它们作为推进剂的组分,可以大幅度提高推进剂的爆热;

c. 在推进剂的配方中加入 RDX 和 DINA 等,降低燃烧产物的平均分子量。这是因为推进剂的燃烧产物平均分子量越低,其成气量越多,做功的能力越大。

### 3 提高螺压双基推进剂能量的尝试

#### 3.1 铝粉含量对推进剂能量特性的影响

一般随着铝粉(Al)含量的增加,推进剂的爆热和比冲明显增加,在螺压工艺允许的条件下,Al含量可增加至5%~15%(见表1)。

表 1 铝粉含量对推进剂能量特性的影响

Table 1 Effect of Al powder content on properties of propellant

Al/(%)	5	7	9	11	13	15
$I_p$ /(N·s/kg)	2492	2521	2551	2580	2600	2629
$T_p$ /(K)	3246	3339	3429	3532	3624	3721
$Q_v(1)$ /(kJ/kg)	5187	5342	5497	5651	5810	5965

#### 3.2 RDX 含量对推进剂能量特性的影响

由于RDX具有正生成热,它本身又是高热值组分,推进剂中加入RDX后可较大幅度的提高比冲<sup>[1]</sup>(见表2)。

#### 3.3 DINA 含量对推进剂能量特性的影响

因DINA本身的热值较高、比容( $V_1$ )较大、氧平衡适中,推进剂中加入DINA后能较明显地提高比冲(见表3)。

#### 3.4 采用 NC-NG-RDX-DINA-Al 系统的推进剂的比冲

在保证螺压工艺安全可行的前提下,采用配方:NC为34%~35%,NG为30%~32%,RDX为20%~25%,Al为5%~7%,DINA为4%~6%<sup>[3]</sup>,可使推进剂的实测比冲达到2354N·s/kg(常温,压力为9.81MPa,扩张比 $\xi=2.3$ )。

### 4 发动机结构及填药条件对比冲的影响

推进剂的比冲除受组分的影响外,还与发动机的工作条件有很大关系<sup>[2]</sup>,因此在确定发动机装填参数时应考虑各种参数的影响,以便较大幅度提高比冲。

#### 4.1 发动机燃烧室压力对比冲的影响

在燃烧室压力( $p_c$ )较小时,提高 $p_c$ 能抑制燃烧反应的解离反应,使比冲增大。但当燃烧室压力 $p_c$ 大于16MPa后,这种影响就不明显了<sup>[2]</sup>。表4及图1给出了螺压双基推进剂的实测比冲 $I_{sd}$ 与压力 $p_c$ 的关系。

表 2 RDX 含量对推进剂能量特性的影响

Table 2 Effect of RDX content on properties of propellant

RDX/(%)	5	10	20	25
$I_p$ /(N·s/kg)	2492	2502	2511	2519
$\bar{M}$	27.30	27.10	26.80	26.60

表 3 DINA 含量对推进剂能量特性的影响

Table 3 Effect of DINA content on properties of propellant

DINA/(%)	4	6	8	10	12
$I_p$ /(N·s/kg)	2492	2496	2500	2502	2506
$V_1$ /(L/kg)	624	633	640	647	653

#### 4.2 喷管扩张比对比冲的影响

喷管的作用就是把燃气的热能转变为喷气动能。选择喷管扩张的目的就是尽可能地把这种热能转变为更多的动能。当燃烧室压力一定时,喷管的扩张比越大,就意味着燃气膨胀的越充分,所做的膨胀功越大,故比冲增大。表5中给出了螺压双基推进剂的实测比冲  $I_{sd}$  与扩张比  $\xi$  的关系。

#### 4.3 比冲效率的影响

比冲效率的大小取决于推进剂和发动机二者的特性<sup>[2]</sup>,造成推进剂的实测比冲低于理论比冲的因素较多,但其中主要是燃烧效率和喷管效率的影响。

燃烧效率主要取决于推进剂中所含金属粉在发动机内燃烧的完全程度和燃烧产物之间达到化学平衡的程度,因此对含金属粉的推进剂,在确定发动机工作条件时,应尽量保证推进剂在发动机内燃烧完全,以利于提高比冲效率。喷管效率主要和喷管内两相流动而造成的损失有关,一般两相流动损失的大小与喷喉的大小成反比<sup>[2]</sup>,因此在确定发动机的结构时,应合理确定喷管尺寸,以达到提高比冲的目的。

### 5 结果与讨论

5.1 对螺压工艺成型的双基推进剂而言,提高其能量的途径较多,从配方设计及组成的选择上主要选择那些热值高,具有正生成热的物质如铝粉、RDX 和 DINA 等,这些组分货源广、价格便宜,有利于大批量生产。

5.2 提高比冲效率也是提高比冲的重要方面,故在选定推进剂后,应合理确定发动机结构和装药条件以利于它在发动机内燃烧完全,使其能量充分释放出来,以提高比冲效率。

5.3 螺压双基推进剂受螺压工艺安全的制约,在组分选择上有一定的局限性,因而其能量提高幅度不够大,但若配方设计合理,组分选择适当,其实测比冲有可能超过  $2354 \text{ N}\cdot\text{s}/\text{kg}$ 。

表4 燃烧室压力对比冲的影响

$p_c/(\text{MPa})$	5.00	7.50	11.95	15.90	20.60
$I_{sd}/(\text{N}\cdot\text{s}/\text{kg})$	2140	2224	2282	2328	2329

表5 扩张比对比冲的影响

$\xi$	1.7	2.0	2.3	2.5
$I_{sd}/(\text{N}\cdot\text{s}/\text{kg})$	2119	2192	2226	2241

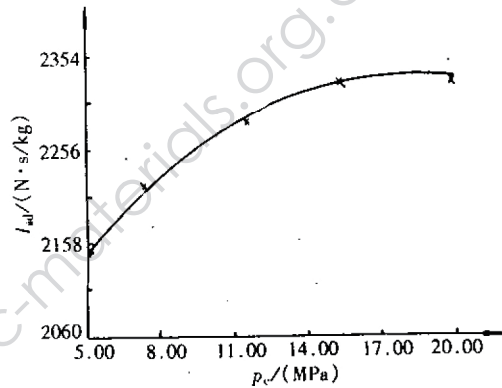


图1 燃烧室压力与比冲的关系曲线

Fig.1 Relationship between chamber pressure and specific impulse

## 参 考 文 献

- 1 任务正等. 火药物理化学性能. 北京: 国防工业出版社, 1982.
- 2 王元有等. 固体火箭发动机设计. 北京: 国防工业出版社, 1982.
- 3 刘所恩. 发挥螺压工艺优势研制新型螺压高能改性双基推进剂. 中国兵工学会火炸药专业委员会火炸药论文集, 北京, 1994.

## DISCUSSION ON ENHANCING THE ENERGY OF SCREW EXTRUDED DOUBLE-BASE PROPELLANT

Ma Yuying

(Xing'an Chemical Material Factory, Taiyuan 030008)

**ABSTRACT** Different ways were tried to enhance the energy of double-base propellant made by using screw extrusion, and the effect of engine structure and loading condition on specific impulse was studied as well. The experimental results show that the specific impulse can exceed  $2354\text{N}\cdot\text{s}/\text{kg}$  under the reasonable combination of some important factors such as proper propellant formulation, the engine structure and loading condition.

**KEYWORDS** double-base propellant, efficiency of specific impulse, energy characteristics, specific impulse.



**作者简介** 马玉英(Ma Yuying), 高级工程师, 现年 58 岁。1964 年毕业于北京理工大学化工系, 一直从事含能材料的研制工作。先后在国内有关刊物上发表过十九篇论文。