

文章编号: 1006-9941(2006)02-0123-04

发射药燃速压力指数变化规律的研究

黄振亚¹, 王泽山¹, 张远波²

(1. 南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094;

2. 西安近代化学研究所六部, 陕西 西安 710065)

摘要: 为深入研究含黑索今(RDX)类硝胺发射药的燃烧性能, 采用密闭爆发器燃烧实验和分段数据处理分析方法, 研究了 3 种含 RDX 硝胺发射药的燃速压力指数变化规律, 并与传统的单基发射药进行了对比分析。实验结果表明, 在 $0.2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 装填密度的实验条件下, 单基药的燃速压力指数在 50 ~ 100 MPa 压力范围内为 0.869, 在 150 ~ 217 MPa 压力范围内为 0.926, 随压力升高有增大的趋势; 而 RDX 硝胺发射药的燃速压力指数在低压下较大, 尤其是 RGD 和 JMZ 配方在 50 ~ 100 MPa 压力范围内都明显大于 1, 但随压力升高而明显变小, 并达到小于 1 的水平。另外, 多孔粒状药的燃速压力指数明显小于单孔管状药。

关键词: 材料学; 发射药; 硝胺; 燃烧; 燃速压力指数; 密闭爆发器

中图分类号: TQ562; TJ55

文献标识码: A

1 引言

在配方中引入黑索今(RDX)或奥克托今(HMX)等硝胺化合物是发展高能发射药和低易损发射药的主要技术途径, 但含 RDX 硝胺发射药存在燃速压力指数大于 1 和燃速-压力曲线转折的问题, 影响了该类发射药的应用, 至今人们对高压力指数的发射药能否在武器中应用仍然存有顾虑。目前解决这一问题的主要途径是在配方中加入燃烧调节剂, 以降低燃速压力指数和消除燃速-压力曲线的转折, 但往往难以满足发射药的综合性能要求。如高能硝胺发射药由于加入了大量的硝基胍作燃烧调节剂, 其力学性能受到了影响^[1,2]。因此, 对于含有大量 RDX 的硝胺类发射药, 燃速压力指数高的问题仍然需要深入研究。

美国从 20 世纪 80 年代末到 90 年代末先后研制了含有大量 RDX 的 XM39、M43、EX-96 和 EX-99 低易损发射药, 并进入了应用研究阶段。该类发射药的燃速压力指数大于 1 是难以避免的, 虽然没有见到具体的报道, 但可以推测, 美国对燃速压力指数大于 1 的发射药的应用并没有持完全否定的态度。

本实验研究了三种硝胺发射药在不同压力范围内的燃速压力指数变化规律, 并对其在身管武器上的应用前景进行了分析。

2 实验部分

2.1 实验样品

(1) JMZ 型高能高强度硝胺发射药。基本组分: 以聚酯聚氨酯高分子为粘合剂、混合硝酸酯为增塑剂、RDX 为高能固体氧化剂。制备工艺: 原材料在真空烘箱中干燥后按一定比例在捏合机中捏合 3 h, 由挤压机压制 14/1 单孔管状药, 在水浴烘箱中 60 °C 固化 6 天。

(2) RGD 型高能硝胺发射药。基本组分: 以硝化棉(NC)为粘合剂、硝化甘油(NG)为增塑剂、RDX 为高能氧化剂、硝基胍(NGu)为燃烧调节剂。制备工艺: 采用三基药半溶剂法工艺压制 18/1 单孔管状药和 19/7、15/19 多孔粒状药。

(3) NHD 型高能硝胺发射药。基本组分: 以 NC 为粘合剂、NG 为增塑剂、RDX 为高能氧化剂、六硝基芪(HNS)为燃烧调节剂; 采用三基药半溶剂法工艺压制 18/1 单孔管状药。

(4) 单基发射药。采用制式 18/1 单孔管状药和 11/7 多孔粒状药。

2.2 密闭爆发器实验

密闭爆发器燃烧室容积为 100 cm^3 , 按照 GJB770A-97 703 密闭爆发器试验方法进行实验。18/1 单基发射药、18/1 RGD 型发射药、18/1 NHD 型发射药、14/1 JMZ 型发射药进行装填密度为 $0.20 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的常规实验; 14/1 JMZ 型发射药、11/7 单基发射药、19/7 和 15/19 RGD 型发射药分别进行装填密度为 0.34, 0.40, $0.365 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的高压实验。

收稿日期: 2005-09-05; 修回日期: 2005-10-27

基金项目: 火炸药燃烧国防科技重点实验室基金项目: 高能量、低烧蚀、高强度发射药燃烧性能研究(51455020204BQ0202)

作者简介: 黄振亚(1958 -), 男, 博士研究生, 研究员, 主要从事含能材料研究。

3 实验结果与分析

燃速随压力的变化规律是表征发射药燃烧性能的主要特征量^[3,4],国外相关研究表明,发射药的燃速压力指数在不同燃烧阶段是不同的^[5]。本研究密闭爆发器常规实验和高压实验的燃速压力指数结果见表 1

和表 2。考虑到点火过程和药型分裂后燃烧表面的影响^[6],数据处理的合理取值范围应在相对燃烧质量 $\psi = 0.15$ 到最大压力陡度(dp/dt)的最大值之间,表 1 和表 2 中的起始点均为略大于 $\psi = 0.15$ 的点。另外,考虑到气体状态方程的压力适用范围,在高压实验数据的处理中,压力范围只能选择在 400 MPa 以下。

表 1 密闭爆发器常规实验结果

Table 1 Experimental results of closed bomb at normal pressure

propellant	parameter	pressure/MPa				p_{dpm}/MPa	p_m/MPa
		50 ~ 100	100 ~ 150	150 ~ p_{dpm}	50 ~ p_{dpm}		
18/1 single base propellant	μ_1	0.1360	0.0977	0.1028	0.1302	217	239.7
	n	0.869	0.938	0.926	0.880		
18/1 RGD	μ_1	0.0332	0.1012	0.1395	0.0714	241.2	291.9
	n	1.251	1.000	0.937	1.068		
18/1 HND	μ_1	0.1515	0.1185	0.1672	0.1410	241.9	292.1
	n	0.921	0.977	0.906	0.939		
14/1 JMZ	μ_1	0.0064	0.0138	0.0517	0.010	226.6	274.8
	n	1.444	1.278	1.017	1.337		

Note: μ_1 is burning rate coefficient, n is pressure exponent. p_{dpm} is the pressure corresponding with maximum dp/dt , p_m is maximum pressure. The correlation coefficients of data processing are also over 0.995.

表 2 密闭爆发器高压实验结果

Table 2 Experimental results of closed bomb at high pressure

propellant	parameter	pressure/MPa				p_m/MPa
		100 ~ 200	200 ~ 300	300 ~ 400	100 ~ 400	
14/1 JMZ	μ_1	0.0108	0.0478	0.0812	0.0247	551.7
	n	1.330	1.045	0.950	1.161	
11/7 single base propellant	μ_1	0.3072	0.1443	0.1753	0.2372	616.1
	n	0.717	0.858	0.822	0.769	
19/7 RGD	μ_1	0.1348	0.2109	0.3354	0.1818	626.0
	n	0.953	0.867	0.786	0.893	
15/19 RGD	μ_1	0.1439	0.2335	0.4234	0.1864	631.7
	n	0.946	0.855	0.751	0.894	

Note: The meaning of symbol and unit are the same as that in Table 1. The correlation coefficients of data processing are also over 0.995.

表 1 结果表明,当装填密度为 $0.2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 时,在总的压力范围内($50 \sim p_{dpm}$)三种单孔管状硝酸铵发射药的平均燃速压力指数都较大,尤其是 RDX 含量最高的 JMZ 型发射药,其燃速压力指数在 1.3 以上,但以六硝基芪作燃烧调节剂的 HND 型发射药的燃速压力指数则明显小一些。单基药的燃速压力指数在 $50 \sim 100 \text{ MPa}$ 内为 0.869,在 $150 \sim 217 \text{ MPa}$ 内为 0.926,随压力升高有增大的趋势。RGD 和 JMZ 配方在 $50 \sim 100 \text{ MPa}$ 内都明显大于 1,但随压力升高而变小,并达到明显小于 1 的水平。在 150 MPa 压力以上,RGD 型和 HND 型硝酸铵发射药的燃速压力指数与单基药基本接近, JMZ 型发射药的燃速压力指数也在 1 左右。

表 2 的结果表明, JMZ 型发射药的燃速压力指数在高压下表现出明显下降的趋势,在 300 MPa 以上燃

速压力指数减小到 0.95。对比表 1 和表 2 发现,对于单基发射药和 RGD 型发射药,在相近的压力范围内,多孔粒状药的燃速压力指数比单孔管状药要小得多,这与过去在 30 mm 高压模拟炮上得到的结果一致^[7]。从这个意义上讲,根据密闭爆发器实验获得的燃速压力指数只是规定实验条件下的表观结果,与发射药在武器膛内应用条件下的燃烧过程并不完全相同。在燃速压力指数的变化规律方面,多孔粒状药的实验结果与表 1 中单孔管状药的结果也一致,在 300 MPa 以上 RGD 硝酸铵发射药的燃速压力指数甚至比单基药还小。

图 1 ~ 3 分别为 18/1 RGD、18/1 HND、14/1 JMZ 发射药常规实验的燃速与压力的对数曲线,图 4 为 14/1 JMZ 发射药高压实验的燃速与压力的对数曲线。从图 1 ~ 4 可见,三种硝酸铵发射药燃速与压力的对数曲

线都较平滑,特别是 JMZ 型发射药的曲线非常平滑,这表明其燃速压力指数的变化是随着压力的变化而逐渐变化。图 5 ~ 8 分别为 18/1 单基药、18/1 RGD、18/1 HND 和 14/1 JMZ 四种发射药的密闭爆发器常规实验的 $\Gamma \sim \psi$ 曲线(Γ 为燃气生成猛度)。从理论上讲,单孔管状药在燃烧过程中的燃烧表面基本不变,如

果燃速压力指数等于 1,则 $\Gamma \sim \psi$ 曲线为一直线。由于 JMZ 发射药在低压段的燃速压力指数较大,在 1.4 以上,反映在 $\Gamma \sim \psi$ 曲线上表现出了很强的燃烧渐增性,能够较好地适应身管武器中弹后空间快速增长的应用环境,这是发射药装药应用过程中所追求的基本目标。

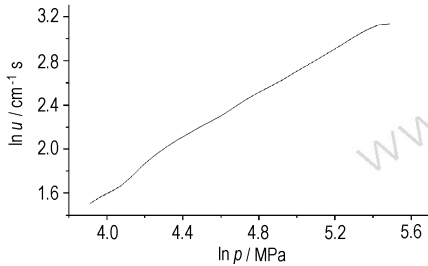


图 1 18/1 RGD 发射药的 $\ln u \sim \ln p$ 曲线
Fig. 1 $\ln u \sim \ln p$ curve of 18/1 RGD propellant

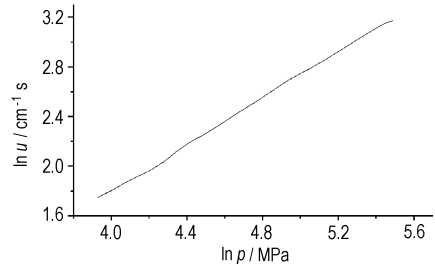


图 2 18/1 HND 发射药的 $\ln u \sim \ln p$ 曲线
Fig. 2 $\ln u \sim \ln p$ curve of 18/1 HND propellant

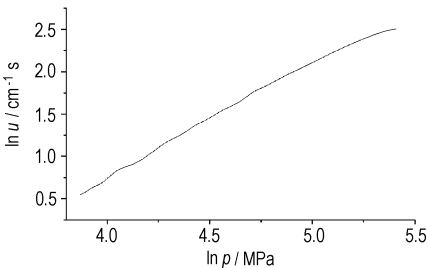


图 3 14/1 JMZ 发射药的 $\ln u \sim \ln p$ 曲线(常规)
Fig. 3 $\ln u \sim \ln p$ curve of 14/1 JMZ propellant at normal pressure

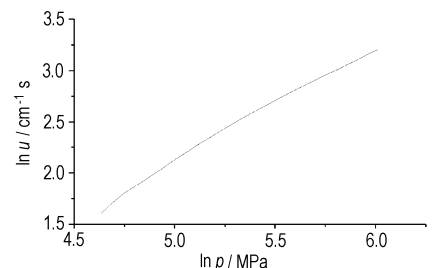


图 4 14/1 JMZ 发射药的 $\ln u \sim \ln p$ 曲线(高压)
Fig. 4 $\ln u \sim \ln p$ curve of 14/1 JMZ propellant at high pressure

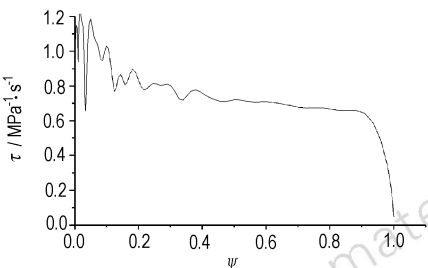


图 5 18/1 单基药的 $\Gamma \sim \psi$ 曲线
Fig. 5 $\Gamma \sim \psi$ curve of 18/1 single base propellant

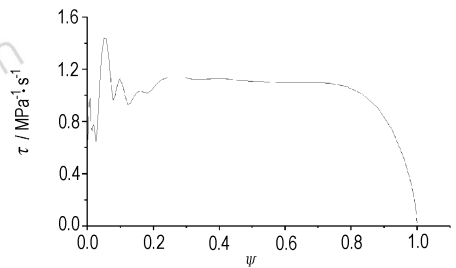


图 6 18/1 RGD 发射药的 $\Gamma \sim \psi$ 曲线
Fig. 6 $\Gamma \sim \psi$ curve of 18/1 RGD propellant

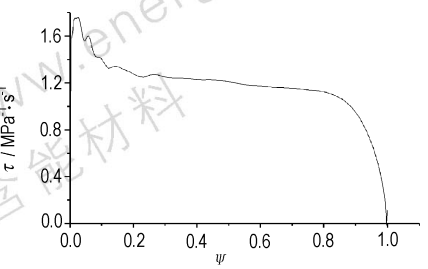


图 7 18/1 HND 发射药的 $\Gamma \sim \psi$ 曲线
Fig. 7 $\Gamma \sim \psi$ curve of 18/1 HND propellant

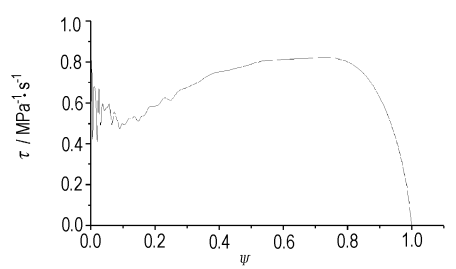


图 8 14/1 JMZ 发射药的 $\Gamma \sim \psi$ 曲线
Fig. 8 $\Gamma \sim \psi$ curve of 14/1 JMZ propellant

上述结果表明,虽然 RGD 型和 JMZ 型硝胺发射药的平均燃速压力指数较大,但主要是在低压段, RGD 型发射药在 150 MPa 压力以下大于或等于 1、JMZ 型发射药在 300 MPa 压力以下大于或等于 1,而在高压段与单基药基本相当。JMZ 型发射药在低压下燃速压力指数大,具有渐增性燃烧的效果,高压下燃速压力指数与单基发射药基本相当,对高压下应用的内弹道稳定性和内弹道效率等影响也可以得到有效的控制。因此,对于燃速压力指数大于 1 的硝胺发射药的燃烧问题,还需进行深入地研究,认清其燃速压力指数的变化规律,尤其是该类发射药在高压下的燃烧特性,为其推广应用提供更为充分的依据。

4 结 论

(1) 发射药的燃速压力指数并不是一个常数,单基药在 50 ~ 100 MPa 压力范围为 0.869,在 150 ~ 217 MPa 压力范围内为 0.926,随压力升高有增大的趋势;而 RGD 型和 JMZ 型硝胺发射药在低压下明显大于 1,但随压力升高而逐渐下降,并达到小于 1 的水平。

(2) 多孔粒状药的燃速压力指数比单孔管状药小,说明密闭爆发性实验获得的燃速压力指数是一个与药型有关的表观值,与武器膛内的实际燃烧过程并不完全相同。

(3) JMZ 型硝胺发射药在低压下燃速压力指数明显大于 1,起始燃烧阶段具有渐增性燃烧的效果,而在

高压下的燃速压力指数小于 1,是一种具有良好应用前景的新型发射药。

参考文献:

- [1] 李新蕊,赵宝昌. 改善硝胺发射药力学性能的研究[J]. 火炸药学报,1998,(3): 14-16.
LI Xin-ru, ZHAO Bao-chang. Study on the improvement of the mechanical property of nitroamine propellant [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 1998, (3): 14-16.
- [2] 雷英杰,杨文宝,胡荣祖. 新型键合剂在硝胺发射药中的应用[J]. 火炸药学报,2002,(2): 59-60.
LEI Ying-jie, YANG Wen-bao, HU Rong-zu. Research on new type bonding agents in nitroamine propellant [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2002, (2): 59-60.
- [3] Richardson S L, Oberle W F. Influence of propellant loading density on computed burn rate in a mini-closed bomb [R]. ADA353540. Aug, 1998.
- [4] Homan B E, Juhasz A A. XLCB: A new closed-bomb data acquisition and reduction program [R]. ADA391803. May 2001.
- [5] Titica Vasile, Cristian Barbu, Doru Safta. Regarding the determination of exponent from burning rate law of powder using the closed bomb data [A]. *New Trends in Research of Energetic Materials Proceedings of the VIII Seminar* [C], April, 2005.
- [6] Tompkins R E, Bowman R E, Juhasz A A. Study on the effects of variable surface area to volume ratio on closed bomb burn rates [R]. ADA1618263, Oct, 1985.
- [7] 黄振亚,杨丽霞,李丽. 发射药膛内动态燃速规律研究[J]. 兵工学报火化工分册,1996,(2): 11-13.
HUANG Zhen-ya, YANG Li-xia, LI Li. Study on the dynamic burning rate law of gun propellant in bore [J]. *Acta Armamentar II, The Fascicule of Explosives & Propellants*, 1996, (2): 11-13.

Regularity of Burning Rate Pressure Exponent for Propellant

HUANG Zhen-ya¹, WANG Ze-shan¹, ZHANG Yuan-bo²

(1. School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;

2. Department No.6 of Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China)

Abstract: In order to study combustion characteristics of RDX nitramine propellant furtherly, the burning rate pressure exponents for three RDX nitramine propellants were investigated by closed bomb test and data-treatment in the different range of pressure, and were compared with that of the single base propellant. Results show that the burning rate pressure exponent for single base propellant with loading density $0.2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, is 0.869 at 50-100 MPa, and 0.926 at 150-217 MPa, and it increases as pressure increasing. But the results are reverse for the RDX nitramine propellants, especially for RGD and JMZ nitramine propellants whose burning rate pressure exponent is over 1 under 150 MPa, and below 1 at higher pressure. In addition, the values of burning rate pressure exponent of multi-perforation granular propellants are smaller obviously than that of single-perforation cylinder propellants.

Key words: materials science; propellant; nitramine; combustion; burning rate pressure exponent; closed bomb