

文章编号:1006-9941(2020)03-0242-06

堵孔钝感高能叠氮硝胺发射药的性能

赵强,刘波,刘少武,马方生,王琼林,李梓超

(西安近代化学研究所,陕西 西安 710065)

摘要: 为了解决高能叠氮硝胺发射药燃烧渐增性欠佳及低温感效果较差的问题,采用高分子复合材料堵孔和含能复合材料钝感两步法工艺,制备了3种内孔被高分子复合材料形成的“塞子”封堵、表面被钝感的钝感高能叠氮硝胺发射药(本研究称之为堵孔钝感发射药)。采用爆热和密闭爆发器试验,研究了堵孔钝感发射药的能量性能及静态燃烧性能。结果表明,与空白药相比,随着堵孔材料及钝感材料含量的增加,3种堵孔钝感发射药WCBF-1/18、WCBF-2/18和WCBF-3/18的爆热分别下降2.6%、3.6%和4.3%,燃烧渐增性增强且燃烧渐增性因子 P 值由0.471分别提高到0.552、0.563和0.576。3种堵孔钝感发射药WCBF-1/18、WCBF-2/18和WCBF-3/18的高温相对燃烧活化温度系数的绝对值均值分别为2.87%、1.89%和1.56%,相较于空白药均有所下降,表明堵孔钝感发射药高温区内低温感效果好。

关键词: 高能叠氮硝胺发射药;堵孔;钝感;低温感效果;燃烧特性

中图分类号: TJ55; TQ562

文献标志码: A

DOI:10.11943/CJEM2019193

1 引言

高能叠氮硝胺发射药是一种新型高能低烧蚀发射药,其火药力高($1227 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$),爆温比同能量的发射药低200~300 K,低温力学性能好(低温抗冲击强度可达 $9.0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上),烟雾残渣少,工艺适应性强,适用于高压压火炮发射装药^[1-2]。为了进一步提升火炮弹道性能,亟需解决高能叠氮硝胺发射药燃烧渐增性欠佳及低温感效果较差的问题。关于提高发射药燃烧渐增性及改善发射药低温感效果,国内外已有一些成功的技术方案,如单基发射药的浸渍钝感包覆技术^[3-8],表面包覆双基(SCDB, surface coated double base)发射药技术^[9-12],国内大粒双基、三基发射药的同材质包覆材料两次包覆技术(“药包药”技术)^[13-18]等。而浸渍钝感包覆技术由于浸渍硝化甘油,容易因表面增塑剂含量过高而导致长储过程中功能材料发生迁移,目前

主要适用于单基药;SCDB技术主要适用于孔径小于0.3 mm的发射药^[12];“药包药”技术目前只能采用混合装药的方式降低温度系数^[13,19]。

因此,若要提高高能叠氮硝胺发射药的燃烧渐增性,改善其低温感效果,同时保持其高能量特性,亟需创新发射药堵孔材料和堵孔工艺。为此,本研究利用高分子复合材料在粒状高能叠氮硝胺发射药孔道中形成“塞子”以封闭其内孔,而后采用含能复合材料对其进行钝感处理,制备了堵孔钝感高能叠氮硝胺发射药,采用爆热和密闭爆发器试验对制备的堵孔钝感发射药的能量和燃烧性能进行了测试,为高能叠氮硝胺发射药的应用研究打下技术基础。

2 实验部分

2.1 试剂与仪器

粒状高能叠氮硝胺发射药,主要组分为硝化棉(NC),硝化甘油(NG),黑索今(RDX),1,5-二叠氨基-3-硝基-3-氮杂戊烷(DIANP)等,西安近代化学研究所;含石墨的高分子复合材料及含硝化棉的含能复合材料均由西安近代化学研究所自制;丙酮和乙醇均为分析纯,西安化学试剂厂。

光泽机,西安近代化学研究所自研,主要由转鼓、

收稿日期:2019-07-03;修回日期:2019-09-01

网络出版日期:2019-12-19

作者简介:赵强(1995-),男,在读研究生,主要从事发射药及装药技术研究。e-mail:2292098429@qq.com

通信联系人:王琼林(1966-),男,博士,博导,研究员,主要从事发射药及装药技术研究。e-mail:wangqionglin369@126.com

引用本文:赵强,刘波,刘少武,等.堵孔钝感高能叠氮硝胺发射药的性能[J].含能材料,2020,28(3):242-247.

ZHAO Qiang, LIU Bo, LIU Shao-wu, et al. Performance of Plugged and Insensitive High-energy Azidonitramine Gun Propellant[J]. Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao), 2020, 28(3):242-247.

控制系统组成,其主要作用是将高分子复合材料及高能叠氮硝胺发射药进行不断旋转使高分子复合材料分散均匀且部分进入发射药内孔中形成“塞子”以堵住发射药内孔。

钝感机,西安近代化学研究所自研,主要由转鼓、进料装置、雾化装置、热风装置、控制系统组成,其主要作用是将含能复合材料经雾化喷头喷出后均匀分散于发射药表面。

2.2 实验过程

称量含石墨的高分子复合材料,加入定量含乙醇的溶剂,常温下搅拌形成高分子复合材料液态混合物,备用;常温下开动光泽机,加入定量粒状高能叠氮硝胺发射药及上述高分子复合材料液态混合物,一定时间后光泽机停机,取出发射药,干燥,所制备样品由端面向孔内延伸一定的距离被高分子复合材料形成的“塞子”所封堵,得到塞子堵孔发射药;称量含硝化棉的含能复合材料,加入定量乙醇与丙酮混合溶剂,常温下搅拌形成含能复合材料液态混合物,备用;常温下开动钝感机,定量加入上述制备的塞子堵孔发射药及含能复合材料液态混合物,通热风,一定时间后钝感机停机,取出发射药,干燥,所制备样品经含能复合材料钝感,得到3种堵孔钝感发射药(表1)。

表1 3种堵孔钝感发射药的堵孔及钝感材料用量

Table 1 The amount of plugged and insensitive materials contained in three types of gun propellants %

sample	amount of plugged materials	amount of insensitive materials
WCBF-1/18	1.3	3
WCBF-2/18	1.3	6
WCBF-3/18	1.6	6

2.3 性能测试

2.3.1 理化性能测试

爆热测试依据 GJB770B-2005 方法 701.2(恒温法)进行。

2.3.2 静态燃烧性能和数据处理

(1) 密闭爆发器试验

药室容积 200 mL,装填密度 $0.2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,点火药 2# 硝化棉(NC),点火压力 10 MPa,实验温度分别为 $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ (低温)、 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (常温)、 $50 \text{ }^\circ\text{C}$ (高温)。

(2) 燃烧渐增性因子 P_r 的计算^[20]

P_r 是用来表征发射药燃烧渐增性的,其值越大说明燃烧渐增性越强。

依据(1)式计算燃烧渐增性因子 P_r :

$$P_r = L_s \times B_s / (L_{0.1} + L_{0.3}) \quad (1)$$

式中, P_r 为发射药燃烧渐增性因子; B_s 为燃烧分裂点对应的 B 值; L_s 为燃烧分裂点对应的动态活度值, $\text{MPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$; $L_{0.1}$ 为相对压力 0.1 对应的动态活度值, $\text{MPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$; $L_{0.3}$ 为相对压力 0.3 对应的动态活度值, $\text{MPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

(3) 相对活度温度系数的计算^[18]

密闭爆发器试验可以模拟研究火炮的发射装药的弹道性能,因此尝试引入相对活度温度系数来表征发射药低温感效应。将发射药在密闭爆发器中的燃烧分为燃烧初期、中前期和中后期三个阶段,并定义三个阶段分别对应于相对压力 $B=0.1, 0.3, 0.6$ 三个点,计算这三个点的相对活度温度系数。

$$\alpha_B = \frac{L_{B\text{高}} - L_{B\text{常}}}{L_{B\text{常}}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\beta_B = \frac{L_{B\text{低}} - L_{B\text{常}}}{L_{B\text{常}}} \times 100\% \quad (3)$$

式中, α_B 表示高温相对活度温度系数; β_B 表示低温相对活度温度系数; $L_{B\text{高}}$ 表示高温下的动态活度值, $\text{MPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$; $L_{B\text{低}}$ 表示低温下的动态活度值, $\text{MPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$; $L_{B\text{常}}$ 表示常温下的动态活度值, $\text{MPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$; B 表示相对压力。

3 结果与讨论

3.1 爆热测试结果

空白药与3种堵孔钝感发射药的爆热测试结果见表2。

表2 3种堵孔钝感发射药的爆热测试结果

Table 2 Testing results for heat of explosion of three types of plugged and insensitive gun propellants

sample	$Q_v^{(1)} / \text{J}\cdot\text{g}^{-1}$
blank	4366
WCBF-1/18	4254
WCBF-2/18	4208
WCBF-3/18	4178

Note: 1) Q_v is the heat of explosive.

从表2可知:随着堵孔材料及钝感材料含量的增加,3种堵孔钝感发射药 WCBF-1/18、WCBF-2/18、WCBF-3/18 的爆热值呈下降趋势,与空白药相比,分别下降 2.6%、3.6% 和 4.3%。分析其原因为钝感材料能量相较于空白药有所下降且 WCBF-2/18 钝感材料含量高于 WCBF-1/18;堵孔材料中高分子材料及石墨

均为非含能组分且 WCBF-3/18 堵孔材料含量高于 WCBF-2/18。

3.2 密闭爆发器测试结果

3.2.1 塞子堵孔及钝感处理对发射药燃烧性能的影响

制备的堵孔钝感发射药沿轴向切开,在显微镜下观察,发现堵孔钝感发射药的结构特征如图 1 所示。从外到内依次是:(1)含能复合材料钝感层;(2)高分子复合材料堵孔层;(3)塞子。

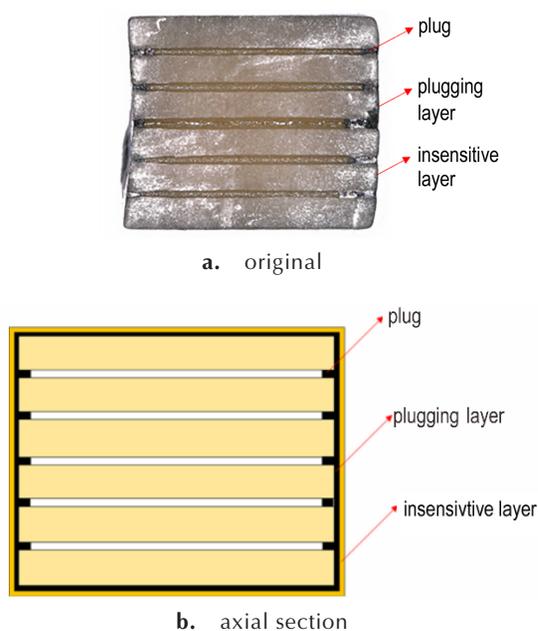


图 1 堵孔钝感发射药的切面结构示意图

Fig. 1 Section structure diagram of plugged and insensitive gun propellants

空白药与 3 种堵孔钝感发射药的 $p-t$ 、 $L-B$ 曲线分别见图 2a 和图 2b。

从图 2a 可知,与空白药相比,3 种堵孔钝感发射药的燃烧起始阶段 $p-t$ 曲线均比较平缓,但随着堵孔材料及钝感材料含量的增加(WCBF-1/18、WCBF-2/18、WCBF-3/18),平缓的趋势加大,燃烧时间分别延长 7.7、9.9、12.8 ms;3 种堵孔钝感发射药的最大压力(p_m)分别为 284.5、280.6、280.1 MPa,比空白药分别下降 2.5%、3.8%、4.0%。这是由于一方面堵孔钝感发射药初始燃烧表面层为含能复合材料钝感层,其燃速低于基体药燃速;另一方面由于含有石墨的高分子复合材料部分进入内孔中形成“塞子”以及钝感层的作用,堵孔钝感发射药的初始燃面相比空白药小很多。因此,堵孔钝感发射药燃烧初期气体生成速率较低,造

成整体燃烧时间延长, $p-t$ 曲线后移。

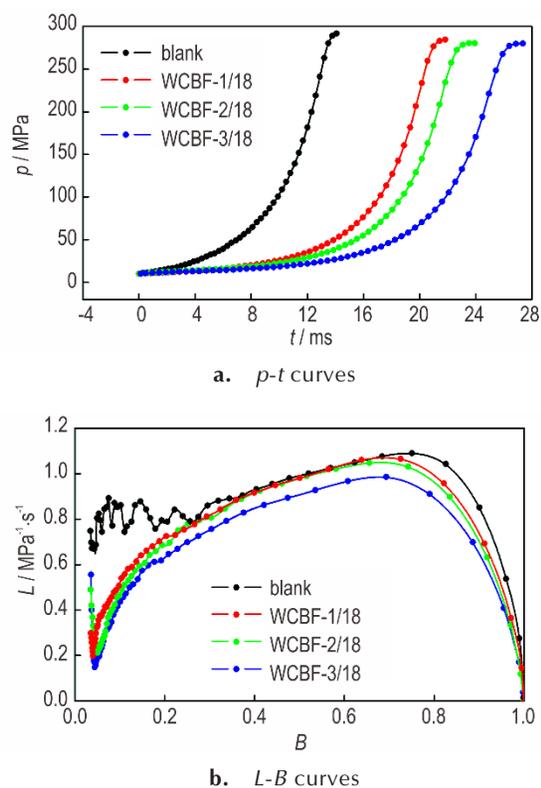


图 2 空白药与 3 种堵孔钝感发射药的 $p-t$ 和 $L-B$ 曲线

Fig. 2 The $p-t$ and $L-B$ curves of untreated gun propellant and three types of plugged and insensitive gun propellants

根据图 2b 计算得到空白药以及 3 种堵孔钝感发射药的燃烧渐增性因子 P_r 值,结果见表 3。可以看到,3 种堵孔钝感发射药的燃烧渐增性相比空白药有所增强,这是因为经塞子堵孔及钝感处理后,发射药燃烧前中期的动态活度下降,导致 $L_{0.1}+L_{0.3}$ 的值减小;同时发射药燃烧分裂点提前,且燃烧分裂点处的动态活度下降,导致 $B_s \times L_s$ 的值减小,总体上使燃烧渐增性因子 P_r 值变大,燃烧渐增性增强。WCBF-1/18、WCBF-2/18、

表 3 空白药与 3 种堵孔钝感发射药的 P_r 值

Table 3 P_r values of untreated gun propellant and three types of plugged and insensitive gun propellants

samples	L_s	B_s	$L_{0.1}$	$L_{0.3}$	P_r
blank	1.086	0.751	0.864	0.867	0.471
WCBF-1/18	1.068	0.695	0.525	0.819	0.552
WCBF-2/18	1.049	0.684	0.470	0.804	0.563
WCBF-3/18	0.985	0.694	0.435	0.751	0.576

Note: L_s is the value of dynamic combustion activity at split point, B_s is the value of relative pressure at split point, $L_{0.1}$ is the value of dynamic combustion activity at $B=0.1$, $L_{0.3}$ is the value of dynamic combustion activity at $B=0.3$, P_r is the value of progression factor.

WCBF-3/18 的燃烧渐增性因子 P_r 值分别为 0.552, 0.563, 0.576, 即在一定范围内, 随着堵孔材料及钝感材料含量的增加, 燃烧渐增性呈现增强的趋势。

3.2.2 塞子堵孔及钝感处理对发射药低温感效果的影响

空白药与 3 种堵孔钝感发射药高、常、低温的 $L-B$ 曲线分别见图 3 和图 4。

从图 3 可知, 在 $B > 0.30$ 范围内, 空白药的动态活度顺序为高温 > 常温 > 低温, 表现出正常的燃烧-温度行为。从图 4 可知, 在 $B < 0.20$ 范围内, WCBF-1/18, WCBF-2/18, WCBF-3/18 高、常、低温动态活度基本保持一致; 在 $0.20 < B < 0.60$ 区间内, 常温和高温动态活度基本保持一致, 且大于低温动态活度, 展现出一定程度的低温感效果。

根据空白药与 3 种堵孔钝感发射药的 $L-B$ 曲线计算 $B=0.1, 0.3, 0.6$ 时的相对活度温度系数, 结果见表 4。从表 4 可知, 3 种堵孔钝感发射药的高温相对活度温度系数的绝对值均值 $\bar{\alpha}$ 相较于空白药均有所下降; WCBF-1/18 和 WCBF-3/18 的低温相对活度温度系数的绝对值均值 $\bar{\beta}$ 相较于空白药有所上升, 而 WCBF-2/

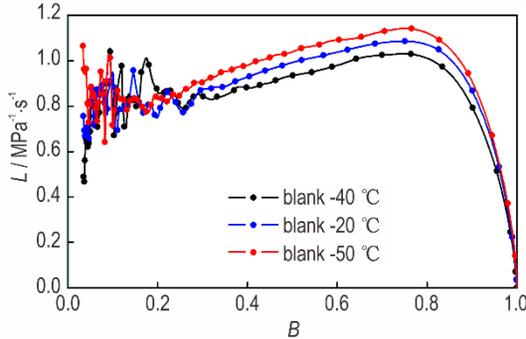
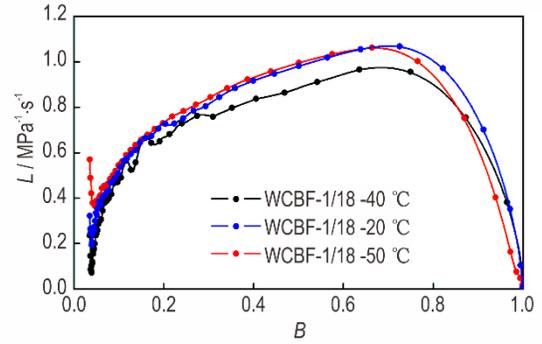
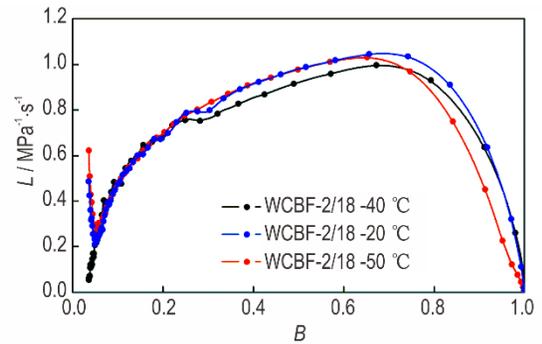


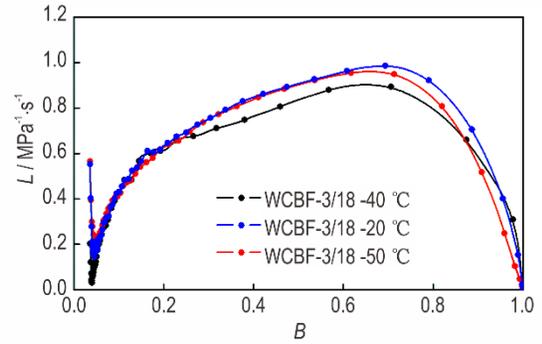
图 3 空白药不同温度下的 $L-B$ 曲线
Fig.3 $L-B$ curves of untreated gun propellant at different temperatures



a. WCBF-1/18



b. WCBF-2/18



c. WCBF-3/18

图 4 3 种堵孔钝感发射药在不同温度下的 $L-B$ 曲线
Fig.4 $L-B$ curves of three types of plugged and insensitive gun propellants at different temperatures

表 4 空白药与 3 种堵孔钝感发射药的相对燃烧活度温度系数

Table 4 Temperature coefficient of relative combustion activity of untreated gun propellant and three types of plugged and insensitive gun propellants %

sample	0.1		0.3		0.6		$\bar{\alpha}^{1)}$	$\bar{\beta}^{2)}$
	α	β	α	β	α	β		
blank	7.02	-2.88	5.65	-1.50	4.81	-5.29	5.83	3.22
WCBF-1/18	4.61	-9.40	3.32	-6.03	0.68	-8.78	2.87	8.07
WCBF-2/18	1.27	0.21	4.02	-4.15	0.39	-5.07	1.89	3.14
WCBF-3/18	-3.22	-1.84	-0.53	-7.05	-0.93	-7.06	1.56	5.32

Note: 1) $\bar{\alpha}$ is the average absolute value of temperature coefficient of relative combustion activity at high temperature. 2) $\bar{\beta}$ is the average absolute value of temperature coefficient of relative combustion activity at low temperature.

18的低温相对活度温度系数的绝对值均值 $\bar{\beta}$ 相较于空白药有所下降,可推断WCBF-2/18的低温感效果最好。

3种堵孔钝感发射药的低温相对活度温度系数的绝对值均值 $\bar{\beta}$ 均大于高温相对活度温度系数的绝对值均值 $\bar{\alpha}$,即堵孔钝感发射药低常温区间内的低温感效果较差,或可采用与空白药混装的方法以改善低温感效果^[21],后续将进一步优化工艺条件并进行内弹道性能考核验证。

4 结论

(1)随着堵孔材料及钝感材料含量的增加,堵孔钝感高能叠氮硝酸胺发射药的爆热值呈下降趋势,WCBF-1/18、WCBF-2/18、WCBF-3/18的爆热值相较于空白药分别下降2.6%、3.6%和4.3%,能量下降较小。

(2)在一定范围内,堵孔材料及钝感材料含量越大,堵孔钝感高能叠氮硝酸胺发射药的燃烧渐增性越强。本实验条件下,堵孔材料含量1.6%,钝感材料含量6%的样品WCBF-3/18的燃烧渐增性效果最好。

(3)高、常、低温密闭爆发器试验结果表明,3种堵孔钝感发射药WCBF-1/18、WCBF-2/18、WCBF-3/18的高温相对活度温度系数的绝对值均值分别为2.87%、1.89%和1.56%,相较于空白药均有所下降,表明堵孔钝感发射药高常温区间内低温感效果好。

参考文献:

- [1] 杨建兴,贾永杰,刘国权,等. DAGR125发射药的燃烧特征[J]. 火炸药学报, 2010, 33(5): 69-71.
YANG Jian-xing, JIA Yong-jie, LIU Guo-quan, et al. Combustion characteristics of DAGR125 gun propellant [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2010, 33(5): 69-71.
- [2] 石先锐,贾永杰,徐敏. 基于微焦点CT技术的DAGR125发射药内部微结构分析[J]. 火工品, 2015(5): 41-45.
SHI Xian-wei, JIA Yong-jie, XU Min. Analysis on inner micro structure of DAGR125 propellant based on micro focus CT technology [J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 2015(5): 41-45.
- [3] 刘少武,刘波,王琼林,等. 改性单基发射药温度系数研究[J]. 含能材料, 2012, 20(3): 345-348.
LIU Shao-wu, LIU Bo, WANG Qiong-lin, et al. Temperature coefficient of the modified single-base propellant [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2012, 20(3): 345-348.
- [4] 李达,刘少武,刘波,等. 改善单基发射药内弹道性能的途径研究[J]. 火炮发射与控制学报, 2015, 36(4): 13-18.
LI Da, LIU Shao-wu, LIU Bo, et al. The technical route research of improving the interior ballistic performance of the modified single gun propellant [J]. *Journal of Gun Launch & Control*, 2015, 36(4): 13-18.
- [5] Liu B, Chen B, Yao Y J, et al. Study on the burning of the modified single base gun propellant [J]. *Energy Procedia*, 2015, 66: 121-124.
- [6] 于慧芳,李梓超,刘波,等. 高氮量改性单基发射药的制备和性能研究[J]. 火炸药学报, 2018, 41(6): 632-636.
YU Hui-fang, LI Zi-chao, LIU Bo, et al. Study on the preparation and properties of modified single-base gun propellant with high nitrogen content [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants (Huozhayaao Xuebao)*, 2018, 41(6): 632-636.
- [7] Vogelsanger B, Ryf K. El-technology-the key for high performance propulsion design [C]//34th Annual Gun and Ammunition Symposium and Exhibition. Monterey: US Army Research Laboratory, 1999.
- [8] Ryf K, Vogelsanger B, Schaedeli U, et al. Method for producing a functional, high-energetic material: US, 7473330 [P]. 2009-1-6.
- [9] Fahrni M, Vogelsanger B, Steinmann A, et al. Temperature-independent propellant powder: US, 7051658 [P]. 2006-5-30.
- [10] Vogelsanger B, Huber A, Jaskolka H. Insensitive propulsion system for large caliber ammunition [C]//Insensitive Munitions and Energetic Materials Technology Symposium. Miami Florida, 2007.
- [11] Lee S K, Jeong D J. A study of surface coated propellant for large caliber ammunition with low dependence on charge temperature (LDCT) of its ballistic properties [C]//41st International Annual Conference of ICT. Karlsruhe: ICT, 2010: 110/1-110/12.
- [12] Vogelsanger B, Ossola B, Huber A, et al. Use of a solid for the production of a propellant powder: US, 14/128443 [P]. 2014-11-6.
- [13] 史先扬. 低温感硝酸胺发射药的研究及弹道模拟 [D]. 南京: 南京理工大学, 2002.
SHI Xian-yang. The study of low temperature sensitivity nitroamine propellant and ballistic simulation [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2002.
- [14] 史先扬,王泽山. 低温感火药降低火炮弹道温度系数的研究 [J]. 弹道学报, 2002, 14(4): 14-18.
SHI Xian-yang, WANG Ze-shan. The study of coated propellant lowering gun ballistic temperature sensitivity coefficient [J]. *Journal of Ballistics*, 2002, 14(4): 14-18.
- [15] 堵平. 低温感发射药包覆层、包覆界面特性研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2005.
DU Ping. Research of coating-layer and interfacial characteristic of low temperature sensitivity coefficient (LTSC) propellant [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2005.
- [16] 王琳. 125 mm穿甲弹装药设计优化探索研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2007.
WANG Lin. 125 mm armour-piercing projectile charge design optimizing and exploring study [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2007.
- [17] 韩博. 高增面性大弧厚硝基胍发射药工艺技术研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2009.
HAN Bo. Studies on process technology of high progressive and large web NQ-based gun propellant [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2009.
- [18] 徐前. 包覆混合装药的定容燃烧性能研究 [D]. 南京: 南京理工

- 大学, 2016.
- XU Qian. The research on constant-volume combustion properties of mixed charge and coated propellant charge[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2016.
- [19] 王泽山, 何卫东, 徐复铭. 火炮发射装药设计原理与技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2014.
- WANG Ze-shan, HE Wei-dong, XU Fu-ming. Principle and technique for gun propellant charge design[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2014.
- [20] 王琼林, 赵小峰, 刘少武, 等. 一种基于密闭爆发器试验的发射药燃烧渐增性定量评价方法[J]. 火炸药学报, 2009, 32(3): 71-74.
- WANG Qiong-lin, ZHAO Xiao-feng, LIU Shao-wu, et al. A quantitative assessment method of gun propellant combustion progressivity based on closed bomb test[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*(*Huozhayao Xuebao*), 2009, 32(3): 71-74.
- [21] 高郑. 小颗粒发射药包覆工艺及燃烧性能研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2016.
- GAO Zheng. The research on coating process of small particles and combustion properties[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2016.

Performance of Plugged and Insensitive High-energy Azidonitramine Gun Propellant

ZHAO Qiang, LIU Bo, LIU Shao-wu, MA Fang-sheng, WANG Qiong-lin, LI Zi-chao

(*Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China*)

Abstract: In order to improve the performance of burning progressivity and low temperature sensitive coefficient effect of high-energy azidonitramine gun propellant, three insensitive high-energy azidonitramine gun propellants was prepared by the two-step process with polymer composite materials plugging and energetic composite materials desensitization" (called plugged and insensitive gun propellant in this study), whose inner hole was blocked by polymer composite materials and surface was desensitized. The energetic and static combustion performance of plugged and insensitive gun propellant was investigated by heat of explosion and closed-bomb tests. Results show that compared with the untreated gun propellant, with the increase of the content of plugged and insensitive materials, the heat of explosion of three types of plugged and insensitive gun propellants (WCBF-1/18, WCBF-2/18, WCBF-3/18) decrease by 2.6%, 3.6%, 4.3%, and P_r values increase from 0.471 to 0.552, 0.563, 0.576 respectively. The average absolute values of temperature coefficient of relative combustion activity at high temperature for three types of plugged and insensitive gun propellants WCBF-1/18, WCBF-2/18, WCBF-3/18 are 2.87%, 1.89%, 1.56%, respectively, which are all lower than that of untreated gun propellant, it shows that the low temperature sensitivity coefficient effect in the high and normal temperature ranges for plugged and insensitive gun propellant can be improved.

Key words: high-energy azidonitramine gun propellant; plugged; insensitive; low temperature sensitivity coefficient effect; combustion characteristics

CLC number: TJ55; TQ562

Document code: A

DOI: 10.11943/CJEM2019193

(责编: 王艳秀)