

文章编号:1006-9941(2020)03-0235-07

三元混合溶剂对高氮含量单基发射药性能的影响

喻艾萍,徐滨,王彬彬,廖昕

(南京理工大学化工学院,江苏南京210094)

摘要: 为了提高高氮含量单基发射药硝化棉/二硝基甲苯/二苯胺(NC/DNT/DPA)的力学性能,在醇酮溶剂中外加3%的辅助溶剂(二甲基亚砜(DMSO)、*N,N*-二甲基甲酰胺(DMF)、环己酮、环己烷、三氯甲烷、乙酸乙酯、乙酸丁酯)形成三元混合溶剂,对高氮量硝化棉进行塑化成型,获得相应的单基发射药。通过扫描电镜观察单基发射药样品的微观结构,采用万能材料试验机、简支梁式抗冲击试验机测试了单基发射药的力学性能,通过密闭爆发器实验研究了辅助溶剂对单基发射药能量及燃烧性能的影响。结果表明:当有辅助溶剂加入时,高氮量单基药的力学性能提高,其中添加3%乙酸丁酯的试样在低温(-40℃)、常温(20℃)和高温(50℃)下试样的抗压强度分别提高了15.7%、4.3%和17.7%,抗冲击强度分别提高了29.9%、96.9%和170.0%;辅助溶剂的加入,对单基发射药的燃烧影响较小;与基础单基发射药相比,三元混合溶剂制备的单基发射药火药力均有小幅下降。

关键词: 单基发射药;高氮量;辅助溶剂;力学性能;燃烧性能

中图分类号:TJ55

文献标志码:A

DOI:10.11943/CJEM2018312

1 引言

以硝化棉(NC)为主要组分的单基药,工业基础十分雄厚,目前很多品种的枪炮弹药,特别是中小口径枪炮武器系统仍以使用单基发射药为主^[1]。单基发射药具有燃烧稳定性高、烧蚀性低等优点,随含氮量增加,其能量增加,但力学性能下降。目前,国内采用混棉以提高单基发射药的力学性能,随之而来的问题是硝化棉含氮量降低,这必会导致发射药能量降低,不能满足现代武器对发射药高能量的需求。为了提高单基发射药的能量,在配方中添加固体高能炸药^[2-5],但是随着固体成分含量的增加,也加大了对力学性能的不利影响^[6]。因此,提高单基发射药力学性能,且保持其优良

的能量性能和燃烧性能,是单基发射药研究的一个重要方向。

目前国内外主要通过醇醚、醇酮等二元混合溶剂的方法来制备单基发射药。常用的醇醚混合溶剂,对含氮量在11%~12.7%的硝化棉可以溶解90%左右,而含氮量12.8%~14.14%的硝化棉可以溶解5%左右,甚至不溶^[7]。陈鹏飞^[8]通过对不同含氮量硝化棉在不同醇醚比的混合溶剂下的溶解过程进行观察和计算模拟,发现高氮量硝化棉在任意配比醇醚混合溶液中都无法溶解。醇酮二元混合溶剂虽然能溶解高氮量硝化棉,但其制备出的单基发射药力学性能差。溶剂选择对单基发射药的成型加工、力学性能等方面均有影响。

为提高B级硝化棉(含氮量 $\geq 13.15\%$)制备的单基发射药在低温条件下的力学性能,本研究在美国M10单基发射药的配方^[1]基础上,选择二甲基亚砜(DMSO)、*N,N*-二甲基甲酰胺(DMF)、环己酮、环己烷、三氯甲烷、乙酸乙酯、乙酸丁酯等有机溶剂作为辅助溶剂,少量添加至醇酮溶剂中,提高溶剂对高氮含量硝化棉的溶解能力,并制备得到不同的单基发射药试样。通过密闭爆发器试验研究了不同辅助溶剂对单基发射药能量和燃烧性能的影响,并通过冲击和压缩试验着重分析了辅助溶剂对单基发射药力学性能的影响。

收稿日期:2018-10-30;修回日期:2019-02-18

网络出版日期:2019-05-10

基金项目:国家自然科学基金(51506093)

作者简介:喻艾萍(1993-),女,硕士,主要从事发射药配方及工艺研究。e-mail:janet-yuaiping@163.com

通信联系人:徐滨(1984-),女,讲师,主要从事发射药配方研究。e-mail:windieed@126.com

廖昕(1961-),男,研究员,主要从事发射药装药研究。

e-mail:liaoxin331@163.com

引用本文:喻艾萍,徐滨,王彬彬,等.三元混合溶剂对高氮含量单基发射药性能的影响[J].含能材料,2020,28(3):235-241.

YU Ai-ping, XU Bin, WANG Bin-bin, et al. Effect of Ternary Mixed Solvents on the Single-based Propellants with High Nitrogen Content[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2020, 28(3):235-241.

2 实验部分

2.1 单基发射药的制备

配方中各原料: B级硝化棉(13.15% N), 质量分数为97.03%, 工业纯, 泸州北方化学工业有限公司; 2,4-二硝基甲苯(DNT)、二苯胺(DPA), 质量分数分别为1.98%和0.99%, 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司; 乙醇、丙酮, 分析纯, 南京化学试剂有限公司。

辅助溶剂: 环己酮、环己烷、乙酸乙酯、乙酸丁酯、三氯甲烷、二甲亚砜(DMSO)、*N,N*-二甲基甲酰胺(DMF), 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司。辅助溶剂的物理参数^[7,9-10]见表1。

表1 不同样品中辅助溶剂的物理参数^[7,9-10]

Table 1 Physical parameters of auxiliary solvents in different samples^[7,9-10]

sample	auxiliary solvent	boiling point / °C	δ / $J^{1/2} \cdot cm^{-3/2}$	μ / D
1 [#]	DMF	153.0	24.5	3.86
2 [#]	DMSO	189.0	26.7	3.96
3 [#]	cyclohexanone	155.6	19.0	3.10
4 [#]	cyclohexane	80.7	16.7	0.00
5 [#]	trichloromethane	61.3	19.2	1.10
6 [#]	<i>n</i> -butyl acetate	126.5	17.3	1.80
7 [#]	ethyl acetate	77.2	18.4	1.90

Note: δ is the solubility parameter. μ is the dipole moment.

在固定乙醇与丙酮体积比为4:6的条件下, 通过外加质量分数3%的辅助溶剂, 制备出一系列15/1单孔管状单基发射药。将不添加辅助溶剂的基础单基发射药记作0[#], 添加辅助溶剂的样品按该辅助溶剂在表1中对应的顺序编号。

2.2 扫描电镜观测

将制备的管状单基发射药在低温(-40 °C)条件下放置4 h, 随后利用Instron3367型万能材料试验机产生的外力与在单基发射药的纵面垂直并打碎, 对单基发射药的碎裂面采用FEI-QUANTA 250扫描电镜进行观察。

2.3 力学性能测试

按GJB 770B-2005规定, 制备长60.0 mm的管状单基药用于冲击试验, 制备长径比1:1的管状单基药用于压缩试验。在低温(-40 °C)、常温(20 °C)和高温(50 °C)保温4 h, 采用Instron3367型万能材料试验机测试发射药的抗压强度, 采用SE2型筒支梁式摆锤冲击试验机测试发射药的抗冲击强度。

2.4 密闭爆发器试验

密闭爆发器容积为98.12 cm³, 点火压力为10.98 MPa, 装填密度分别为0.12 g·cm⁻³和0.20 g·cm⁻³, 使用长为40.0 mm的15/1单孔管状药进行测试。

3 结果与讨论

3.1 单基发射药微观结构

采用扫描电镜观察制备的一系列15/1单孔管状单基发射药微观结构, 结果如图1所示。

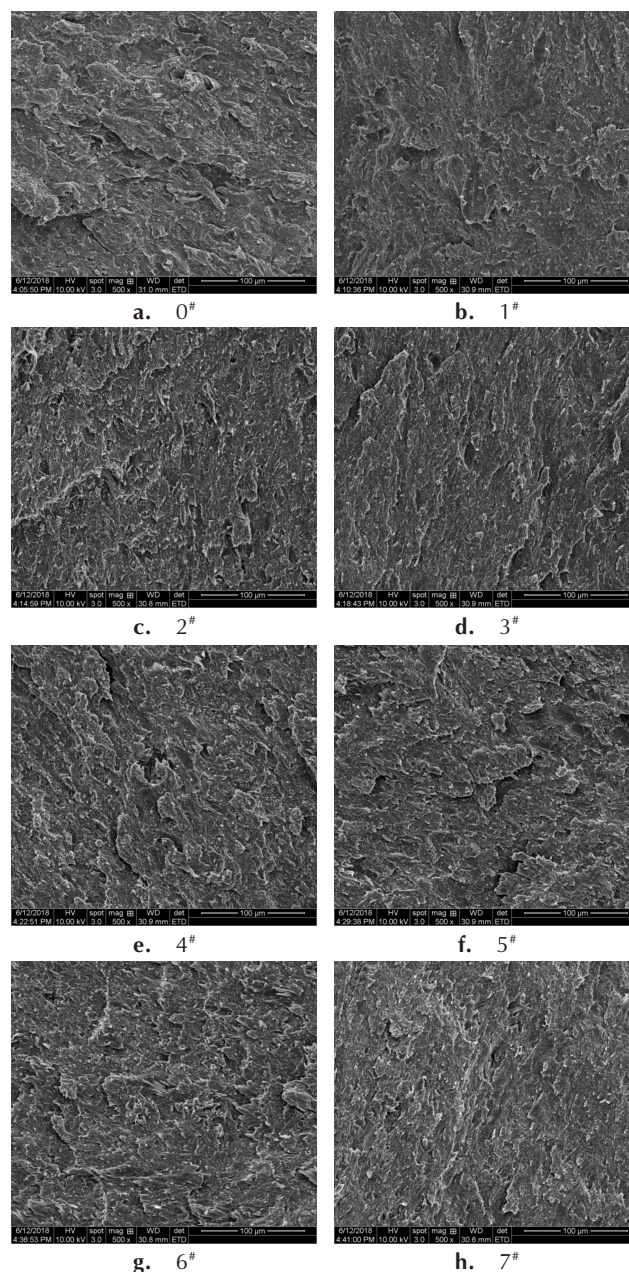


图1 15/1单孔管状单基发射药扫描电镜图

Fig. 1 SEM images of 15/1 single-hole tubular single-based propellants

从图 1a 可以看出 0# 基础单基发射药在经过外力后, 破裂面上有较大块状层状结构, 组织结构相对比较疏松, 缺陷较多, 与文献[11]中描述基本一致。由图 1f 可以看出 5# 单基发射药的碎裂面存在部分层状结构, 仍存在缺陷; 其余添加辅助溶剂的单基发射药的碎裂面较为平整, 尤其是 3# 单基发射药(环己酮), 它们与基础发射药的断面存在差异, 说明辅助溶剂的添加能够改变溶剂对基础发射药的溶塑能力。

3.2 单基发射药力学性能

一系列 15/1 单孔管状单基发射药的抗压强度测试结果见表 2。

表 2 15/1 单孔管状单基发射药的抗压强度测试结果

Table 2 Compressive strength test results of 15/1 single-hole tubular single-based propellants

sample	σ_c / MPa		
	-40 °C	20 °C	50 °C
0#	99.16	69.98	37.61
1#	110.51	73.28	45.22
2#	109.17	76.98	45.43
3#	100.17	73.83	38.83
4#	100.65	77.92	44.92
5#	87.70	73.38	43.59
6#	114.69	72.99	44.26
7#	105.79	73.98	41.46

Note: σ_c is the compressive strength.

从表 2 可以看出, -40 °C 下, 5# 单基发射药(三氯甲烷)的抗压强度为 87.70 MPa, 低于 0# 基础单基发射药的 99.16 MPa, 其余均高于 0# 基础单基发射药, 尤其是 6# 单基发射药(乙酸丁酯), 其在低温条件下的抗压强度最好, 为 114.69 MPa。进一步将 6# 单基发射药(乙酸丁酯)与 0# 基础单基发射药的压缩应力与压缩应变(ε)曲线进行比较分析, 结果见图 2。

从图 2 可以明显看出, 随着温度升高, 高氮含量单基发射药的断裂模式从脆性断裂转变到韧性断裂模式, 抗压强度也随之降低。由于温度的增加, 硝化棉分子链的运动逐渐能够跟上外力作用速率, 使单基发射药能够在较低外力条件下发生屈服, 断裂强度也降低。从图 2 可以看出 6# 单基发射药的抗压强度比 0# 基础单基发射药的抗压强度高, 说明乙酸丁酯的加入加强了硝化棉分子链之间的作用力, 减弱了硝化棉分子链的运动, 因此需要更大的压力去破坏分子链之间的作用力。

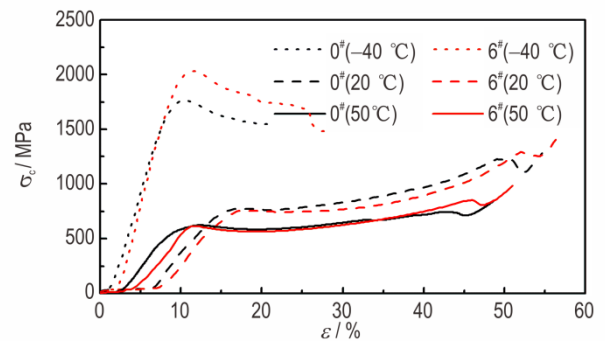


图 2 不同温度下 0# 与 6# 单基发射药的压缩应力-压缩应变曲线
Fig. 2 Compressive stress-compression strain curves of 0# and 6# single-based propellants at different temperatures

15/1 单孔管状单基发射药的抗冲击强度测试结果见表 3。从表 3 可以看出, 在低温条件下, 1#(DMF) 和 6#(乙酸丁酯) 单基发射药较 0# 基础单基发射药的抗冲击强度提高了近 28%。相较于添加了其他的外加溶剂制备的单基发射药, 6# 单基发射药(乙酸丁酯)在低温、常温和高温下的抗冲击强度结果最优, 分别为 9.20, 19.49, 29.51 $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$, 对比基础发射药分别提高了 29.9%, 96.9%, 170.0%。说明辅助溶剂能提高单基发射药的抗冲击强度。

表 3 15/1 单孔管状单基发射药的抗冲击强度测试结果

Table 3 Impact strength test results of 15/1 single-hole tubular single-based propellants

sample	α_k / $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$		
	-40 °C	20 °C	50 °C
0#	7.08	9.90	10.93
1#	9.07	12.71	17.40
2#	7.33	15.34	22.77
3#	8.78	17.45	20.26
4#	8.63	16.73	18.08
5#	8.31	13.14	14.99
6#	9.20	19.49	29.51
7#	7.91	18.79	20.12

Note: α_k is the impact strength.

硝化棉含氮量越高, 其溶胀效果越差, 这将直接影响单基发射药的成型与力学性能。由于硝化棉是高分子聚合物, 其溶解实质上是溶剂分子进入聚合物中, 拆散聚合物分子间作用力并将其拉入溶剂中的过程。聚合物与溶剂之间的溶度参数(δ)差值的绝对值越小, 其溶解能力越好^[12-14]。辅助溶剂的加入能够调节混合溶剂的溶度参数, 使其与高含氮量硝化棉的溶度参数相近, 从而促进了高含氮量硝化棉的溶解。硝化棉的

溶度参数为 $21\sim 23.5 \text{ J}^{1/2}\cdot\text{cm}^{-3/2}$,且随着含氮量的增加, δ 值降低。根据公式(1)^[10]计算出混合溶剂的溶度参数($\delta_m, \text{J}^{1/2}\cdot\text{cm}^{-3/2}$):

$$\delta_m = \sum_{i=1}^m \delta_i \varphi_i \quad (1)$$

式中, δ_i 为*i*组分的溶度参数, $\text{J}^{1/2}\cdot\text{cm}^{-3/2}$; φ_i 为*i*组分溶剂的体积分数,%。计算结果见表4。为方便表示,表4中0#~7#发射药样品制备中所用的溶剂仍按对应的样品编号表示。

通过表4可知,添加了环己酮、环己烷、三氯甲

表4 混合溶剂的溶度参数

Table 4 Solubility parameters of mixed solvents

sample	0#	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#
$\delta_m / \text{J}^{1/2}\cdot\text{cm}^{-3/2}$	22.60	22.60	22.70	22.50	22.41	22.54	22.45	22.48

Note: δ_m is the solubility parameters of mixed solvents.

除环己烷与三氯甲烷以外,其余辅助溶剂在结构上均存在能与硝化棉分子形成氢键的N或者O原子。在硝化棉溶解过程中,辅助溶剂上的N、O原子与硝化棉分子产生作用,减弱了原来硝化棉高分子之间的相互作用,使链段运动更容易,有助于硝化棉的溶解^[10]。

综合对抗压强度和抗冲击强度实验结果的分析可得,添加乙酸丁酯形成三元混合溶剂制备的单基发射药的力学性能最优,而添加三氯甲烷形成三元混合溶剂制备的单基发射药力学性能最弱。造成这种结果的原因浅析如下:

添加乙酸丁酯的三元混合溶剂的溶度参数下降,有利于高氮量硝化棉的溶解;在塑化成型阶段,乙酸丁酯上的两个O原子能与硝化棉分子上的羟基形成氢键,减弱了硝化棉分子之间的作用力,促进硝化棉的溶塑能力;乙酸丁酯是高沸点,难挥发的极性有机化合物,经过驱溶后,一部分乙酸丁酯保留下来与硝化棉未酯化的羟基形成氢键,增强了分子之间的作用力,宏观上增强了单基发射药的力学强度^[15]。

三氯甲烷的加入对溶度参数的贡献较小,只降低了 $0.06 \text{ J}^{1/2}\cdot\text{cm}^{-3/2}$,但仍对硝化棉的溶解有促进作用;三氯甲烷的结构中不存在能与硝化棉形成氢键的原子;结合电镜图1f可知,添加三氯甲烷制备的单基发射药微观结构上存在缺陷,不利于力学强度的增加。

3.3 单基发射药能量性能

为研究不同三元混合溶剂体系对单基发射药能量

的影响,在 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 下对制备得到的系列15/1单孔管状单基发射药样品进行了密闭爆发器试验,得到火药力(*f*)和余容(α),结果如表5所示。

表5 15/1单孔管状单基发射药的能量性质

Table 5 Energy properties of 15/1 single-hole tubular single-based propellants

sample	<i>f</i> / $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	α / $\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}$
0#	982.34	0.89
1#	969.08	0.89
2#	975.67	0.91
3#	955.38	0.91
4#	969.49	0.92
5#	971.58	0.91
6#	962.34	0.94
7#	969.94	0.90

Note: *f* is the propellant force. α is the covolume.

从表5可以看出,添加辅助溶剂制备得到的单基发射药能量均比基础单基发射药低。其中,3#单基发射药(环己酮)的火药力下降最多,为 $955.38 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$,较0#基础单基发射药的火药力减少了2.74%。2#单基发射药(DMSO)的火药力下降最少,为 $975.67 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$,较0#基础单基发射药的火药力减少了0.68%。

分析认为,添加的辅助溶剂通过常规工艺难以全部除去,残余的部分将降低发射药的能量。总体上来说,辅助溶剂对单基发射药的能量影响较小。

3.4 单基发射药燃烧性能

为了研究不同三元混合体系对单基发射药燃烧性能的影响,在 20 °C 下对 0[#]~7[#] 单基发射药样品进行密闭爆发器试验,结果见图 3。其中: p 为爆发器所测压力,MPa; t 为时间,ms; u 为发射药表观燃速, $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$; L 为发射药的动态活度, $\text{MPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$; B 为爆发器所测压力与试验测得最大压力的比值。

从图 3 可以看出, p - t 曲线、 u - p 曲线以及 L - B 曲线光滑并未出现较大转折,基础单基发射药与添加辅助溶剂的单基发射药燃烧曲线规律一致,说明辅助溶剂

加入对单基发射药的燃烧影响较小。

对 u - p 曲线(图 3b)起始阶段进行局部放大可以看出,0[#] 基础单基发射药的起始燃速最小且波动较小,相较于添加辅助溶剂的单基发射药的起始燃速变化曲线有较大差别。2[#] 单基发射药(DMSO)的初始燃速随着压力先降低后上升,这是由于点火药包的燃烧会释放出具有酸性的高温气体,在高温高压且存在酸性物质的环境中 DMSO 极易分解,造成 DMSO 随点火药包的燃烧而分解所致。

在烘药阶段由于溶剂的挥发,在单基发射药表面留下孔隙,添加辅助溶剂的单基发射药和基础单基发射药在 12~17 MPa 的初始压力阶段燃速均有较快的增长^[16]。结合表 5 可知,由于辅助溶剂残留在单基发射药中,一定程度上改变了初始燃烧产物的组成,使得初始燃速在 15~20 MPa 之间相较于基础单基发射药有大幅的上升。在 20~25 MPa,添加辅助溶剂的单基发射药燃烧逐渐趋稳,初始压力燃烧阶段的压力波动随之消失。在 25 MPa 后,燃烧由表面转向内部,由于添加辅助溶剂制备的单基发射药的内部结构与基础单基发射药的内部结构相近,因此后期的燃速几乎相同。

5[#] 单基发射药(三氯甲烷)和 6[#] 单基发射药(乙酸丁酯)在初始阶段的燃速波动幅度最大。由于三氯甲烷的沸点较低,在驱溶和烘药的过程中大部分的三氯甲烷挥发,可能会在表面留下一些孔隙,结合图 1f 可知添加三氯甲烷制备的单基发射药的结构相较于添加其他辅助溶剂制备的单基发射药而言较为疏松,会提高燃速;乙酸丁酯的沸点较高,且能与硝化棉分子之间产生较大的作用力,由表 5 可以推测在单基发射药中仍存在较多的乙酸丁酯,由于乙酸丁酯具有易燃烧性,会一定程度提高初始燃速。

综合分析力学性能、燃烧性能以及能量性质,添加辅助溶剂的单基发射药能量略有下降,燃烧性能稳定,力学性能有不同程度的提高。说明在高氮量硝化棉中加入辅助溶剂可以提高单基发射药的力学性能,一方面通过改变混合溶液的溶度参数,使高氮量硝化棉溶解能力提高,有利于单基发射药的塑化成型;另一方面由于辅助溶剂自身较易与硝化棉形成氢键,从而提高了高氮量硝化棉分子之间的结合能力,改善高氮量发射药的力学性能。

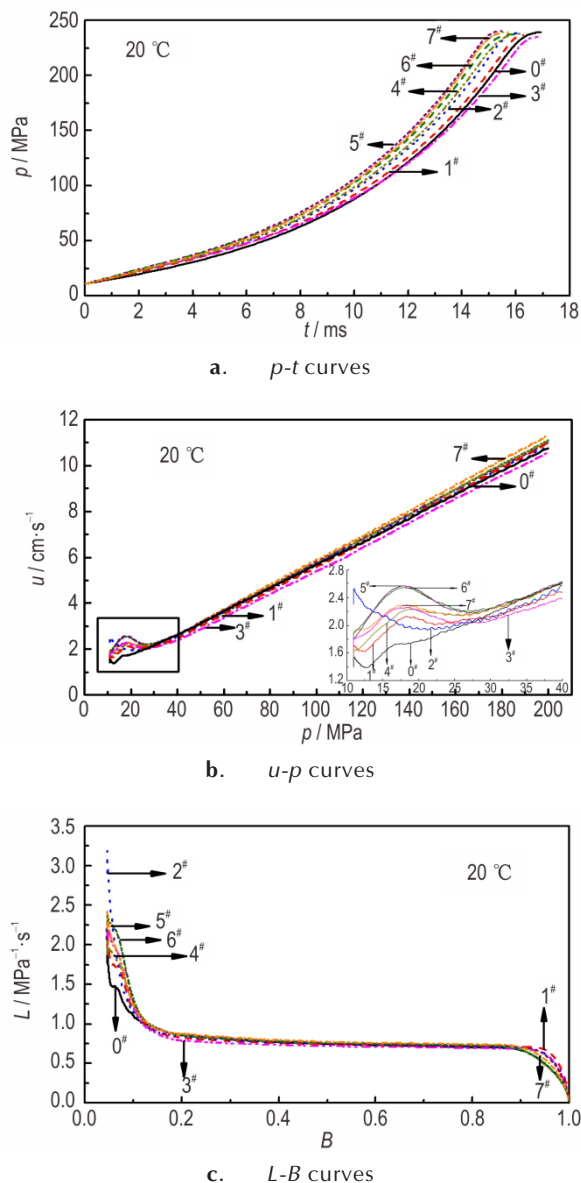


图 3 15/1 单孔管状单基发射药的 p - t 、 u - p 以及 L - B 曲线
Fig.3 p - t , u - p and L - B curves of 15/1 single-hole tubular single-based propellants

4 结论

(1) 单基发射药制备过程中添加的少量辅助溶剂均能较大提高单基发射药的抗压强度和抗冲击强度。与基础发射药相比,尤其是添加3%乙酸丁酯溶剂制备的单基发射药,低温、常温和高温下试样的抗压强度分别提高了15.7%、4.3%和17.7%,抗冲击强度分别提高了29.9%、96.9%和170.0%。

(2) 辅助溶剂的加入从两方面影响高氮量硝化棉溶解。一方面是改变了混合溶剂的溶度参数,提高对高氮量硝化棉的溶解能力;另一方面是能与硝化棉形分子成较强的作用力,减弱硝化棉分子之间的作用力,使溶剂分子较为容易进入分子之间,促进硝化棉溶解。

(3) 三元混合溶剂制备的单基发射药燃烧稳定,由于辅助溶剂的存在使初始燃速与基础单基发射药相比有较大的提高。

(4) 采用外加DMSO、环己酮等辅助溶剂制备得到单基发射药,其火药力相较于基础单基发射药有所降低,降低范围为0.68%~2.74%。

参考文献:

- [1] 任务正,王泽山. 火炸药理论与实践[M]. 北京: 中国北方工业化学总公司, 2001: 8-12.
REN Wu-zheng, WANG Ze-shan. Explosives theory and practice[M]. Beijing: China North Industries Group Corporation, 2001: 8-12.
- [2] Yan Q L, Zhao F Q, Kuo K K, et al. Catalytic effects of nano additives on decomposition and combustion of RDX-, HMX-, and AP-based energetic compositions[J]. *Progress in Energy & Combustion Science*, 2016, 57: 75-136.
- [3] Sanghavi R R, Kamale P J, Shaikh M A R, et al. HMX based enhanced energy LOVA gun propellant[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2007, 143(1): 532-534.
- [4] Mueller D. New gun propellant with CL-20 [J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2015, 24(3): 176-181.
- [5] Rakesh R, Sanghavi, Khire V H, et al. Studies on RDX influence on performance increase of triple base propellants [J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2010, 31(4): 318-321.
- [6] 刘佳,张丽华,马忠亮,等. 含RDX多相发射药力学性能研究[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2013, 11(4): 87-89.
LIU Jia, ZHANG Li-hua, MA Zhong-liang, et al. Study on mechanical properties of multi-phase gun-propellant containing RDX [J]. *Chemical propellants & Polymeric Materials*, 2013, 11(4): 87-89.
- [7] 邵自强,王文俊. 硝化纤维素结构与性能[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
SHAO Zi-qiang, WANG Wen-jun. Structure and properties of nitrocellulose [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2011.
- [8] 陈鹏飞. 硝化纤维素(NC)在醇醚混合溶剂中的相溶性机理研究[D]. 太原: 中北大学, 2008.
CHEN Peng-fei. The study about the dissolvability mechanism of nitrocellulose (NC) dissolve in ethanol-aether mix solvent [D]. Taiyuan: North University of China, 2008.
- [9] 张海峰. 危险化学品安全技术全书[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
ZHANG Hai-feng. Safety technology for hazardous chemicals [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008.
- [10] 董炎明,朱平平,徐世爱. 高分子结构与性能[M]. 上海: 华东理工大学出版社, 2010.
DONG Yan-ming, ZHU Ping-ping, XU Shi-ai. Polymer structure and properties [M]. Shanghai: East China University of Science and Technology Press, 2010.
- [11] 刘燕华,张馨方,李磊,等. 精制棉成熟度及硝化工艺对高氮量NC硝化均匀性的影响[J]. 含能材料, 2018, 26(2): 110-117.
LIU Yan-hua, ZHANG Xin-fang, LI Lei, et al. Effect of maturity and nitrification process of purified cotton on the nitrification uniformity of nitrocellulose with high-nitrogen content [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2018, 26(2): 110-117.
- [12] 堵平,何卫东,王泽山. 高聚物理论估算溶塑火药拉伸强度的应用研究[J]. 含能材料, 2008, 16(5): 498-501.
DU Ping, HE Wei-dong, WANG Ze-shan. Applied study on estimate-calculating tensile intensity of dissolution-adding-plasticity propellant by polymer theory [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2008, 16(5): 498-501.
- [13] 曹进,顾海宏,顾家态,等. 溶剂对聚氨酯纳米纤维膜的影响[J]. 现代纺织技术, 2018(2): 7-12.
CAO Jin, GU Hai-hong, GU Jia-tai, et al. Solvent effects on polyurethane nano fiber membrane [J]. *Advanced Textile Technology*, 2018, 26(2): 7-12.
- [14] Howell J, Roesing M, Boucher D. A functional approach to solubility parameter computations [J]. *The Journal of Physical Chemistry B*, 2017, 121: 4191-4201.
- [15] 郑林,李生慧,魏学涛,等. 硝化棉含氮量对叠氮硝胺发射药力学性能的影响[J]. 火炸药学报, 2003, 26(3): 47-50.
ZHENG Lin, LI Sheng-hui, WEI Xue-tao, et al. The influence of nitrogen content of nitrocellulose on the mechanical properties of the diazidonitrazapentane propellant [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2003, 26(3): 47-50.
- [16] 张福炆,薛耀辉,廖昕,等. 表面微孔结构三基发射药的性能[J]. 含能材料, 2014, 22(4): 509-513.
ZHANG Fu-yang, XUE Yao-hui, LIAO Xin, et al. Performance of surface micro-porous structure tripe base propellants [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2014, 22(4): 509-513.

Effect of Ternary Mixed Solvents on the Single-based Propellants with High Nitrogen Content

YU Ai-ping, XU Bin, WANG Bin-bin, LIAO Xin

(School of Chemistry and Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjin 210094, China)

Abstract: To improve the mechanical property of single-based propellant with high nitrogen content, nitrocellulose/2,4-dinitrotoluen/diphenylamine (NC/DNT/DPA), 3% dimethylsulfoxide (DMSO), *N,N*-dimethylformamide (DMF), cyclohexanone, cyclohexane, chloromethane, ethyl acetate and butyl acetate were added to alcohol ketone respectively to form ternary mixed solvent, plasticizing high-nitrogen nitrocellulose and obtaining the corresponding single-based propellant. The microstructure of single-based propellant samples were observed by scanning electron microscopy, and the mechanical properties were tested by universal material testing machine and beam impact testing machine. In addition, the energy of single-based propellant samples were studied by closed bomb test. Results show that when the auxiliary solvents are added, the mechanical properties of the high-nitrogen single-based propellant samples are improved. The compressive strength of the sample with 3% butyl acetate at low temperature ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$), normal temperature ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$) and high temperature ($50\text{ }^{\circ}\text{C}$) increases by 15.7%, 4.3% and 17.7%, and the impact strength increases by 26.9%, 96.9% and 170.0%, respectively. The addition of the auxiliary solvent has little effect on the combustion of single-based propellant. And compared with the basic single-based propellant, the gunpowder force of the single-based propellant samples prepared by the ternary mixed solvent has a small decrease.

Key words: single-based propellant; high nitrogen content; additional solvent; mechanical property; combustion performance

CLC number: TJ55

Document code: A

DOI: 10.11943/CJEM2018312