

文章编号: 1006-9941(2014)03-0359-06

改性 B 炸药的力学性能

高大元, 蓝林钢, 温茂萍, 贺传兰, 舒远杰, 聂少云, 王平胜, 蔡忠展

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: 为了解添加剂对 B 炸药力学性能的影响, 分别添加 2% 的热塑性弹性体 (VP-401 和 VP-501)、1% 或 3% 的季戊四醇和丙稀醛缩合的热固树脂/硫酸二乙酯 (123 树脂/DES)、5% 固化系数 0.6 和 0.8 的端羟基聚丁二烯/二苯甲烷-4,4'-二异氰酸酯 (HTPB/MDI), 制备了相应 6 个改性 B 炸药配方 (B-1、B-2、B-3、B-4、B-5 和 B-6)。进行了静态压缩试验、巴西试验和分离式霍普金森压杆试验, 获得了改性 B 炸药在静力压缩、间接拉伸和低速冲击作用下的应力-应变曲线。对比分析了改性 B 炸药的强度和韧性变化。结果表明, 与 B 炸药相比, B-1 和 B-2 的压缩弹性模量分别增加了 1.49 GPa 和 2.28 GPa, 压缩强度分别增加了 6.7 MPa 和 6.3 MPa, 其压缩弹性和韧性均好于 B 炸药。应变率 500 s^{-1} 时, 与 B 炸药相比, B-3 和 B-4 的动态压缩强度分别增加了 1.99 MPa 和 7.61 MPa, 而 B-5 和 B-6 的动态压缩强度分别降低了 8.33 MPa 和 19.47 MPa。这说明, B-3 和 B-4 的抗低速冲击能力提高, B-5 和 B-6 炸药的抗低速冲击能力降低。

关键词: 材料力学; 添加剂; 改性 B 炸药; 应力-应变曲线; 弹性模量; 压缩强度

中图分类号: TJ55; TQ560.1; O341

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2014.03.016

1 引言

B 炸药由 TNT、RDX 和少量添加剂组成, 是弹药装药中非常重要的一类炸药。TNT 为层状结构, 分子间没有氢键, 只有较弱的范德华力作用, 压入模量和压入硬度较低。因此, 以 TNT 为主要成分的熔铸炸药力学性能较差, 属于低强度脆性含能材料, 限制了其在高性能武器系统中的应用^[1]。已有文献报道^[2-6]在 B 炸药中分别加入橡胶纳米微球、聚合物纤维和热塑性弹性体等改性剂, 能增强 TNT 与 RDX 晶体间的界面作用, 改善 B 炸药的力学和安全性能, 而爆轰性能的降低在允许范围内。近年来, 针对 B 炸药的低强度和脆性特点, 中物院化材所开展了系列工作: 静态力学性能测试中, 建立了基于标准力学试样和小尺寸力学试样的两种试验方法, 测试改性 B 炸药压缩和拉伸的应力-应变曲线, 进而获得其韧性和弹性的表征参量^[7-8]; 动态力学性能测试中, 在参阅文献^[9-10]基础上建立了分离式霍普金森压杆 (Split Hopkinson

Pressure Bar, SHPB) 试验方法, 测试改性 B 炸药在 $80 \sim 1300 \text{ s}^{-1}$ 应变率范围低速冲击下的应力-应变曲线, 进而获得其韧性和弹性的表征参量和本构方程。

为进一步了解各种添加剂对 B 炸药力学性能的影响, 本实验分别用热塑性弹性体 (VP-401 和 VP-501)、季戊四醇和丙稀醛缩合的热固树脂/硫酸二乙酯 (123 树脂/DES)、端羟基聚丁二烯/二苯甲烷-4,4'-二异氰酸酯 (HTPB/MDI) 改性 B 炸药, 制备了 6 个改性 B 炸药配方。进行了样品的静态压缩试验、巴西试验和 SHPB 试验, 对比分析了改性 B 炸药的强度和韧性变化, 分析了添加剂改性 B 炸药的机理, 为确定较佳的改性 B 炸药配方提供理论分析和试验数据支撑。

2 实验部分

2.1 样品制备

B 炸药基本配方为 RDX/TNT=65/35 (质量比), 分别外加一定质量比的 VP-401、VP-501、123 树脂/DES 和 HTPB/MDI 制成 6 个改性配方, 组成见表 1。

按表 1 配方组成, 成依据熔铸炸药成型工艺浇注成型 $\Phi 25 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 药柱, 然后加工成下列试验样品: $\Phi 20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ 药柱用于静态压缩试验; $\Phi 20 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ 和 $\Phi 16 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ 药片分别用于巴西试验和 SHPB 试验。

收稿日期: 2013-05-16; 修回日期: 2013-09-22

基金项目: 国家自然科学基金-中国工程物理研究院联合基金 (NSAF 11076002)

作者简介: 高大元 (1962-), 男, 副研究员, 博士, 主要从事含能材料的热分析、爆轰和安全性能研究。e-mail: gaody466@163.com

表 1 改性 B 炸药配方

Table 1 Formulation of modified Comp. B

explosive	composition			appearance	ρ /g · cm ⁻³
	RDX/%	TNT/%	additives		
Comp. B	65	35	-	yellow	1.723
B-1	65	35	VP-401,2%	purple	1.651
B-2	65	35	VP-501,2%	yellow	1.652
B-3	65	35	123 resin/DES,1%	filemot	1.696
B-4	65	35	123 resin/DES,3%	filemot	1.684
B-5	65	35	HTPB/MDI,5%	yellow	1.624
B-6	65	35	HTPB/MDI,5%	yellow	1.620

Note: The solidifying coefficients of B-5 and B-6 explosives are 0.6 and 0.8 respectively.

2.2 静态压缩试验

静态压缩试验设备为材料试验机 INSTRON 5582, 美国英斯特朗试验设备贸易有限公司生产。试验环境温度为(20±2) °C, 样品尺寸为 $\Phi 20$ mm×20 mm 标准试样, 加载速率 0.5 mm · min⁻¹。当加载压力达到材料的压缩破坏强度时发生破坏, 测量改性 B 炸药的压缩应力-应变曲线, 通过数据处理获得表征熔铸炸药压缩弹性和韧性的各种力学性能参量。

2.3 巴西试验

设备与静态压缩试验相同。试验环境温度为(20±2) °C, 样品尺寸为 $\Phi 20$ mm×6 mm, 加载速率 0.5 mm · min⁻¹。通过夹具对样品进行径向压缩, 样品受压直径产生拉应力, 当试样圆心的拉应力达到材料的拉伸破坏强度时发生破坏, 测量间接拉伸的应力-应变曲线, 通过数据处理获得表征熔铸炸药拉伸弹性和韧性的各种力学性能参量。

2.4 SHPB 试验

SHPB 试验在中物院化材所的 Hopkinson 杆上进行, 使用 $\Phi 20$ mm 的 7075 铝杆, 测速用 KD205 红外测速仪, 应变测试采用 KD205-1A 动态应变仪, 数据采集用 Tektronix 3014C 示波器。样品尺寸为 $\Phi 16$ mm×6 mm, 弹速范围 5 ~ 15 m · s⁻¹、应变率范围 80 ~ 1300 s⁻¹。利用粘贴在弹性杆上的应变片直接测量入射波、反射波、透射波的相应纵向应变值, 用公式组计算材料的动态应力、应变和应变率, 获得不同应变率的应力-应变曲线, 通过数据处理获得表征熔铸炸药动态力学性能的各种参量。

3 结果与讨论

3.1 改性 B 炸药的静态力学性能

材料学里, 弹性表征材料抵抗塑性变形的能力;

韧性表征材料抵抗断裂的能力。B 炸药属于弹塑性材料, 在受力加载过程中, 初始阶段表现出弹性, 然后呈现韧性直至断裂^[11-12]。因此, 弹性模量、应变 0.01% 时的作用强度 ($\sigma_{0.01\%}$) 可用于表征改性 B 炸药的弹性, 其值越大, 则弹性越好。断裂时的抗压强度、压缩应变和断裂能量可用于表征改性 B 炸药的韧性, 其值越大, 则韧性越好。对 B-1、B-2 和 B 炸药进行了静态压缩试验, 其结果见表 2。

表 2 改性 B 炸药的压缩试验结果

Table 2 Results of compress test for modified Comp. B

explosive	elasticity		toughness		
	$\sigma_{0.01\%}$ /MPa	strength /GPa	strain /%	strength /MPa	energy /J
B-1	1.070	9.16	0.370	26.93	0.2649
B-2	1.240	9.95	0.360	26.53	0.2617
Comp. B	0.786	7.67	0.290	20.23	0.2184

从表 2 可知, 表征 B-1 和 B-2 炸药弹性和韧性的各种参量值比较接近, 因此, 添加 VP-401 和 VP-501 改性 B 炸药压缩力学性能的效果相当。与 B 炸药相比, B-1 和 B-2 炸药的压缩弹性模量分别增加了 1.49 GPa 和 2.28 GPa, 压缩抗压强度分别增加了 6.7 MPa 和 6.3 MPa, 表明 B-1 和 B-2 炸药的压缩弹性和韧性均好于 B 炸药。

同样, 在巴西试验中, 应变 0.01% 时的作用强度 ($\sigma_{0.01\%}$) 和模量表征弹性, 其值越大, 则弹性越好。拉伸强度、拉伸应变和断裂能量表征韧性, 其值越大, 则韧性越好。B-1、B-2 和 B 炸药的巴西试验结果见表 3。

表 3 改性 B 炸药的巴西试验结果

Table 3 Results of Brazilian test for modified Comp. B

explosive	elasticity		toughness		
	$\sigma_{0.01\%}$ /MPa	strength /GPa	strain /%	strength /MPa	energy /J
B-1	0.735	7.767	0.0328	2.078	0.70
B-2	0.691	7.187	0.0333	2.016	0.70
Comp. B	0.581	6.388	0.0216	1.656	0.65

从表 3 可知, 表征 B-1 和 B-2 炸药的拉伸弹性和韧性的参量值比较接近, 说明 VP-401 和 VP-501 对 B 炸药的改性效果相当。与 B 炸药相比, B-1 和 B-2 炸药的拉伸弹性模量分别增加了 1.379 GPa 和 0.799 GPa, 拉伸强度分别增加了 0.422 MPa 和 0.360 MPa, 表明 B-1 和 B-2 的拉伸弹性和韧性均好于 B 炸药。

弹性模量和强度是表征炸药弹性和韧性的重要参数。从宏观角度来说,弹性模量是衡量炸药抵抗弹性变形能力大小的尺度;强度是炸药在无侧约束状态下所能承受的最大载荷,强度越高,则炸药发生脆性断裂的可能性越小。从微观角度来说,则是组成炸药的原子或分子之间键合强度的反映,影响键合强度的因素均能影响炸药的弹性模量和强度。例如:键合方式、晶体结构、化学成分、微观组织等。B 炸药的增韧增弹添加剂有橡胶纳米微球、聚合物纤维和热塑性弹性体等,对材料的增韧可以是“填料”增韧,也可以“互溶”增韧^[13-14],影响改性 B 炸药力学性能的因素有添加剂的种类、数量和试样固化程度。VP-401 是由丙烯腈与丁二烯共聚形成的网状化合物,外观为黄色粉末状,密度 $0.90 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$; VP-501 是由丙烯腈与丁二烯和丙烯酸酯共聚形成的网状化合物,外观为黄色粘弹性体,密度 $0.92 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。DSC 分析表明^[15],热塑性弹性体是以网状非晶态形式存在,VP-401 样品的吸热熔化热分解发生在 $380 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上,VP-501 样品的吸热熔化热分解发生在 $410 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上,熔化温度均较高,远大于 TNT 的熔融温度 $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 。在 B-1 和 B-2 炸药的浇注成型过程中,分别添加 2% 的 VP-401 和 VP-501 不能与 TNT 互溶,只能作为固相填料均匀分散到 B 炸药体系中,减少 TNT 和 RDX 晶体颗粒之间相互接触的机率,改善界面作用,提高改性 B 炸药的弹性模量和强度,起到一定的增韧增弹效果^[16]。

3.2 改性 B 炸药的动态力学性能

对 6 种改性 B 炸药进行了 SHPB 试验。以 B-2 炸药为例,试验开始前样品两端面涂上少许二硫化钼润滑剂,固定于 SHPB 试验装置的入射杆和透射杆之间,如图 1a 所示。样品经过动态冲击的压缩和剪切后,一部分炸药破坏后碎裂脱落,而另一部分炸药破坏变形仍残留在透射杆上,如图 1b 所示。



图 1 冲击前后 B-2 样品在 Hopkinson 杆上的状态
Fig.1 States of sample B-2 on the Hopkinson bar before and after impact

改性 B 炸药成型过程中,RDX 晶体和添加剂加入熔融 TNT,均匀分散到熔铸炸药体系,RDX 颗粒相对比较完整。从图 1b 观察 B-2 炸药冲击试验后样品断口形貌照片,RDX 颗粒都产生了不同程度的断裂,且部分 RDX 颗粒与 TNT 和添加剂脱粘,其断裂模式为晶界脆性断裂。SHPB 试验中,其它改性 B 炸药的样品断口形貌与 B-2 炸药大体相同,断裂模式都是晶界脆性断裂。

用应变片直接测量入射波、反射波、透射波的相应纵向应变值,经过数据处理和公式组计算获得改性 B 炸药在不同应变率的应力-应变曲线,如图 2 所示;应变率为 $300, 500, 1200, 1300 \text{ s}^{-1}$ 时改性 B 炸药的对比应力-应变曲线如图 3 所示;冲击断裂时改性 B 炸药的动态抗压强度和应变汇总见表 4。

从图 2 可知,在应变率 $100 \sim 1300 \text{ s}^{-1}$ 范围内,改性 B 炸药在不同应变率下的失效力随着应变率的增加而增加,呈现出明显的应变率效应。改性 B 炸药是弹塑性材料,应力-应变曲线的直线部分为弹性变形阶段,曲线出现拐点后开始发生塑性变形,随后是弹塑性变形阶段,最后是试样断裂,见图 2d,表现出一定的脆性。

从图 3a 和表 4 可知,应变率为 300 s^{-1} 时,B-1 炸药的动态抗压强度为 25.55 MPa ,而 B-2 炸药的动态抗压强度为 29.57 MPa ,比 B-1 大 4.02 MPa ;从图 3d 和表 4 可知,应变率为 1300 s^{-1} 时,B-1 炸药的动态抗压强度为 45.97 MPa ,而 B-2 炸药的动态抗压强度为 47.87 MPa ,比 B-1 大 1.90 MPa 。对比分析表明,热塑性弹性体 VP-501 改性 B 炸药的力学性能效果优于 VP-401,低速冲击下,B-2 炸药的动态抗压强度高于 B-1 炸药,韧性比 B-1 好。

从图 3b 和表 4 可知,应变率为 500 s^{-1} 时,B 炸药的动态抗压强度为 29.91 MPa 。与 B 炸药相比,B-3 和 B-4 炸药的动态抗压强度分别增加了 1.99 MPa 和 7.61 MPa ,B-5 和 B-6 炸药的动态抗压强度分别降低了 8.33 MPa 和 19.47 MPa 。

从图 3c 和表 4 可知,应变率为 1200 s^{-1} 时,B 炸药的动态抗压强度为 33.78 MPa 。与 B 炸药相比,B-3 和 B-4 炸药的动态抗压强度分别增加了 8.49 MPa 和 4.16 MPa ,B-5 和 B-6 炸药的动态抗压强度分别降低了 8.99 MPa 和 15.30 MPa 。对比分析表明,B 炸药添加 123 树脂/DES 改性剂后(B-3 和 B-4),抗低速冲击能力增强,能改善力学性能;B 炸药分别添加 0.6 和 0.8 固化系数的 HTPB/MDI 改性剂后(B-5 和 B-6),抗低速冲击能力降低,不能改善 B 炸药力学性能。

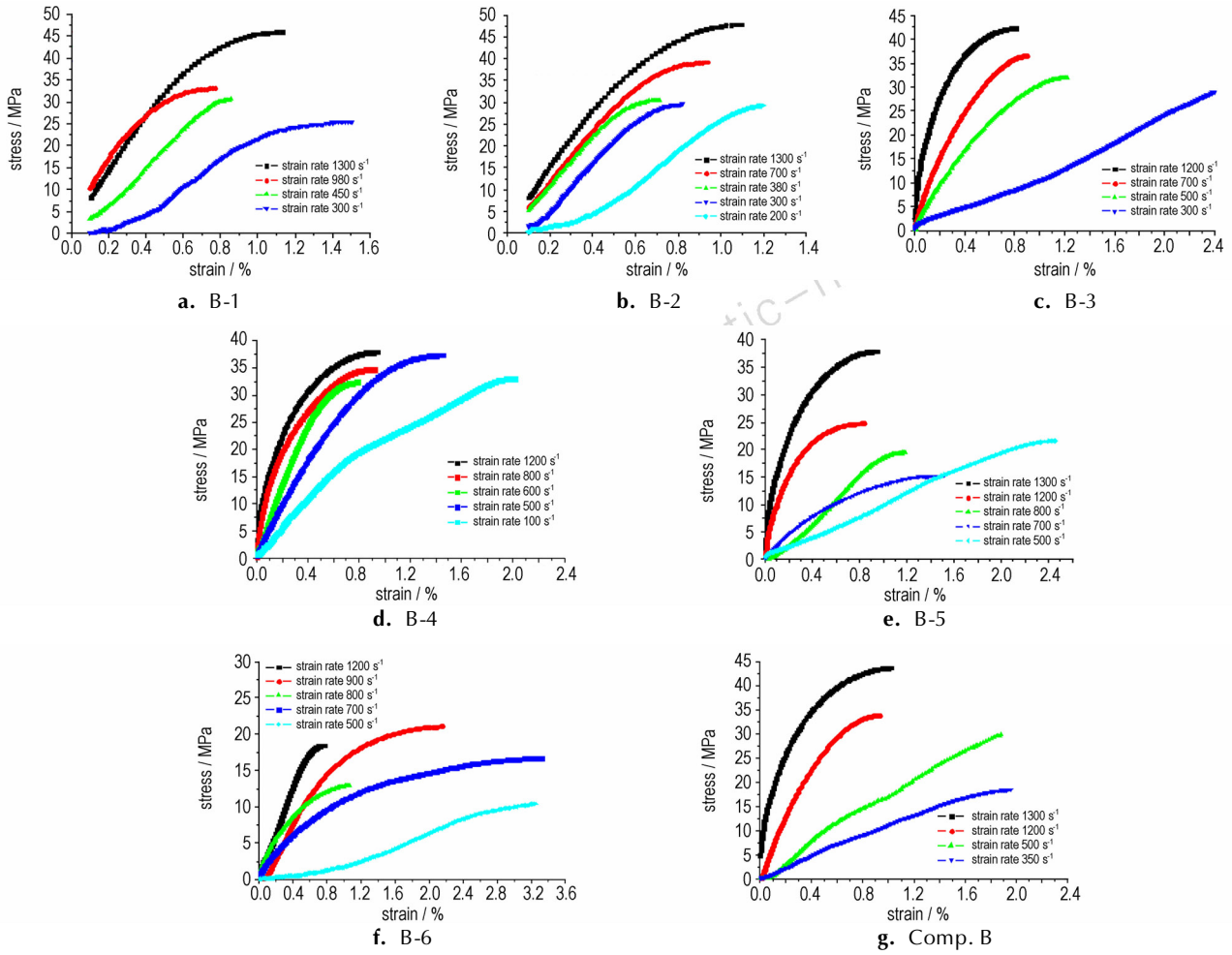


图2 改性B炸药低速冲击试验的应力-应变曲线

Fig.2 Stress-strain curves of impact test at low speed for modified Comp. B

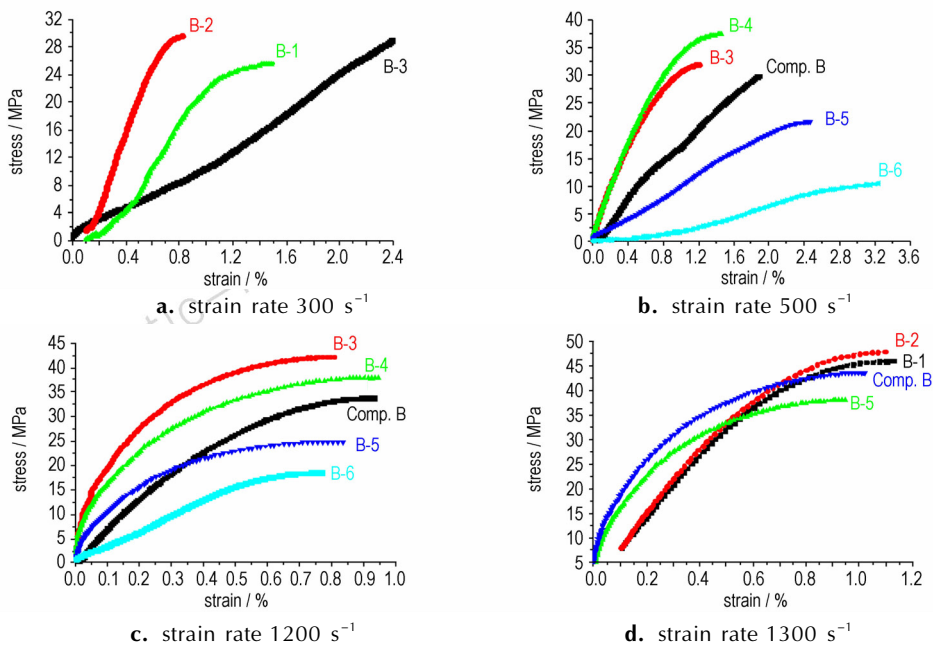


图3 改性B炸药在相同应变率的对比应力-应变曲线

Fig.3 Comparative stress-strain curves of modified Comp. B at same strain rate

表 4 改性 B 炸药的 SHPB 试验对比结果

Table 4 Comparative results of SHPB test for modified Comp. B

explosive	$\dot{\epsilon} = 300 \text{ s}^{-1}$		$\dot{\epsilon} = 500 \text{ s}^{-1}$		$\dot{\epsilon} = 1200 \text{ s}^{-1}$		$\dot{\epsilon} = 1500 \text{ s}^{-1}$	
	strength/MPa	strain/%	strength/MPa	strain/%	strength/MPa	strain/%	strength/MPa	strain/%
B-1	25.55	1.51					45.97	1.13
B-2	29.57	0.82					47.87	1.10
B-3	29.00	2.40	31.90	1.21	42.27	0.808		
B-4			37.52	1.46	37.94	0.947		
B-5			21.58	2.46	24.79	0.838	37.94	0.95
B-6			10.44	3.24	18.48	0.769		
Comp. B			29.91	1.88	33.78	0.931	43.61	1.02

热固性 123 树脂为季戊四醇和丙稀醛缩合成的粘稠状预聚物,密度 $1.209 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,固化剂为硫酸二乙酯(DES)。在 B-3 和 B-4 炸药的浇注成型过程中,分别添加 1% 和 3% 的 123 树脂与 TNT 能部分互溶,比较均匀地分散于 TNT/RDX 体系,增强与 TNT 之间的界面作用,对感度较高的 RDX 颗粒起到良好的包覆作用,且 123 树脂固化后在多相体系间形成笼状结构,能改善 B 炸药的力学性能,提高动态压缩强度。因此,B 炸药添加 123 树脂/DES 添加剂后,抗低速冲击能力提高。

B-5 和 B-6 中均外加 5% 的 HTPB/MDI 改性剂。HTPB 为黄色透明液体,控制 MDI 固化剂的用量,使配方分别达到 0.6 和 0.8 的固化系数。虽然 HTPB 与 TNT 能部分互溶,均匀分散于 TNT/RDX 体系中,对感度较高的 RDX 颗粒也有良好的包覆作用,但由于 MDI 用量太少,HTPB 未完全固化,在多相体系间形成的笼状结构密实性较差,不太结实和坚硬,致使其动态压缩强度降低。

综上分析认为,在 B 炸药中添加热塑性弹性体 VP-401 和 VP-501 能提高其拉伸和压缩的弹性模量和强度,起到一定的增韧增弹效果;添加 123 树脂/DES 可以提高其动态压缩强度和韧性,而使用未完全固化的 HTPB/MDI 不利于提高 B 炸药的动态压缩强度和韧性。

4 结 论

(1) 添加 VP-401 和 VP-501 改性 B 炸药后,静态压缩试验和巴西试验获得 B-1 和 B-2 炸药压缩、拉伸的弹性模量和强度都比 B 炸药大,表明 B-1 和 B-2 炸药的压缩、拉伸的弹性和韧性均好于 B 炸药。相同应变率时,SHPB 试验获得改性 B 炸药动态抗压强度的大小顺序为 B-2>B-1>B,表明热塑性弹性体 VP-501 改性 B 炸药的力学性能效果优于 VP-401。

(2) 相同应变率时,SHPB 试验获得 B-3 和 B-4

炸药的动态抗压强度都大于 B 炸药,表明 B 炸药添加 123 树脂/DES 改性剂后,123 树脂与 TNT 能部分互溶,增强与 TNT 之间的界面作用,且 123 树脂固化后在多相体系间形成笼状结构,能提高改性 B 炸药的动态压缩强度。

(3) 相同应变率时,SHPB 试验获得 B-5 和 B-6 炸药的动态抗压强度都小于 B 炸药,表明 B 炸药添加固化系数 0.6 和 0.8 的 HTPB/MDI 改性剂后,在多相体系间形成的笼状结构密实性较差,不太结实和坚硬,致使其动态压缩强度降低。

参考文献:

- [1] 董海山,周芬芬. 高能炸药及其相关物性能[M]. 北京: 科学出版社,1989.
- [2] 黄亨建,董海山,张明. 高聚物改性 B 炸药(II)[J]. 含能材料, 2005, 13(1): 7-9.
HUANG Heng-jian, DONG Hai-shan, ZHANG Ming. Research on modification of composition B with polymers (II)[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2005, 13(1): 7-9.
- [3] 徐瑞娟,罗宏,王新锋. 改性 B 炸药中添加剂的作用机理[J]. 火炸药学报,2003, 26(2): 5-7.
XU Rui-juan, LUO Hong, WANG Xin-feng. Effect of additives on the modified composition B[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2003, 26(2): 5-7.
- [4] 马卿,舒远杰,罗观. TNT 基熔铸炸药: 增韧增弹的途径及作用[J]. 含能材料, 2012, 20(5): 618-629.
MA Qing, SHU Yuan-jie, LUO Guan. Toughening and elasticizing route of TNT based melt cast explosives[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2012, 20(5): 618-629.
- [5] 孙家利,王秋雨. 高效毁伤注装药工艺技术[J]. 兵工自动化, 2012, 31(1): 16-18.
SUN Jia-li, WANG Qiu-yu. High efficiency damage melt-loading process technology [J]. *Ordnance Industry Automation*, 2012, 31(1): 16-18.
- [6] 王凤清,朴哲镐,李玉文. 注装用改性 B 炸药渗油性的试验研究[J]. 沈阳理工大学学报, 2010, 29(3): 5-8.
WANG Feng-qing, PIAO Zhe-hao, LI Yu-wen. Test and research on the exudation for the injection modified B explosive[J]. *Journal of Shenyang Ligong University*, 2010, 29(3): 5-8.
- [7] 温茂萍,李明,庞海燕. 炸药件力学性能各向异性试验研究

- [J]. 含能材料, 2006, 14(4): 286-289.
- WEN Mao-ping, LIM ing, PANG Hai-yan. Study on mechanical isotropic of PBX[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2006, 14(4): 286-289.
- [8] 庞海燕, 李明, 温茂萍等. 不同加载形式的 PBX 炸药巴西试验[J]. 含能材料, 2012, 20(2): 205-209.
- PANG Hai-yan, LI Ming, WEN Mao-ping. Different loading methods in Brazilian test for PBX[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2012, 20(2): 205-209.
- [9] 胡时胜. Hopkinson 压杆实验技术的应用进展[J]. 实验力学, 2005, 20(4): 589-594.
- HU Shi-sheng. The Application development of experimental technique of Hopkinson Pressure Bar[J]. *Journal of Experimental Mechanics*, 2005, 20(4): 589-594.
- [10] 李英雷, 李大红, 胡时胜. TATB 钝感炸药本构关系的实验研究[J]. 爆炸与冲击, 1999, 19(4): 353-359.
- LI Ying-lei, LI Da-hong, HU Shi-sheng. An experimental study on constitutive relation of TATB explosive[J]. *Explosion and Shock Waves*, 1999, 19(4): 353-359.
- [11] 钱秀清, 曹艳平, 张建宇. 采用压痕实验确定线性强化弹塑性材料的弹性模量[J]. 工程力学, 2010, 27(6): 24-28.
- QIAN Xiu-qing, CAO Yan-ping, ZHANG Jian-yu. Determining the elastic modulus of linearly hardening elastoplastic materials using indentation tests[J]. *Engineering Mechanics*, 2010, 27(6): 24-28.
- [12] 宫能平. 不同应力状态下弹塑性材料动态起裂韧度的实验研究[J]. 上海交通大学学报, 2003, 37(5): 774-777.
- GONG Neng-ping. Experimental study for measuring dynamic fracture-initiation toughness under different stress state[J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 2003, 37(5): 774-777.
- [13] Dobratz P M, Crawford P C. Properties of chemical explosives and explosive simulants[M]. LLNL Explosives Handbook, 1997.
- [14] William Voigt H, Stanhope N J. Process to enhance safety of cast explosive composite: USP 5477769[P], 1995.
- [15] 高大元, 文雯, 舒远杰. 热塑性弹性体改性 B 炸药的性能研究[J]. 含能材料, 2012, 20(5): 534-540.
- GAO Da-yuan, WEN Wen, SHU Yuan-jie. Study on performance of modified composition B with thermoplastic elastomer[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2012, 20(5): 534-540.
- [16] 张子敏, 许碧英, 贾建新. 基于 Hopkinson 杆技术分析典型传爆药的动态力学性能[J]. 含能材料, 2012, 20(1): 62-66.
- ZHANG Zi-min, XU Bi-ying, JIA Jian-xin. Analysis on dynamic properties of typical boosters based on Hopkinson Bars[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2012, 20(1): 62-66.

Mechanical Properties of Modified Composition B

GAO Da-yuan, LAN Lin-gang, WEN Mao-ping, HE Chuan-lan, SHU Yuan-jie, NIE Shao-yun, WANG Ping-sheng, CAI Zhong-zhan

(Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang 621900, China)

Abstract: To understand the effect of additives on mechanical properties of Comp. B, six formulations of modified Comp. B (B-1, B-2, B-3, B-4, B-5 and B-6) were prepared by addition of thermoplastic elastomer (VP-401 and VP-501) of mass percentage 2%, thermosetting resin polymerized by pentaerythritol and acrylic aldehyde /diethyl sulfate (123 resin/DES) of mass percentage 1% or 3%, hydroxyl-terminated polybutadiene/diphenyl methene-4,4'-diisocyanate (HTPB/MDI) of mass percentage 5% in solidifying coefficient 0.6 and 0.8, respectively. The compression test, Brazilian test and split Hopkinson pressure bar (SHPB) test were performed. The stress-strain curves of modified Comp. B in static compression, indirect tensile and low speed impact were obtained. The elasticity and toughness changes of modified Comp. B were compared and analyzed. Results show that compared with Comp. B, the compressive elastic modulus of B-1 and B-2 explosives increase by 1.49 GPa and 2.28 GPa, respectively. The compressive strength of B-1 and B-2 explosives increase by 6.7 MPa and 6.3 MPa, respectively. Their elasticity and toughness of compress are better than those of Comp. B. When strain rate 50 s^{-1} . Compared with Comp. B, the dynamic compressive strength of B-3 and B-4 explosives increase by 1.9 MPa and 7.6 MPa, respectively, while the dynamic compressive strength of B-5 and B-6 explosives decrease by 8.33 MPa and 19.47 MPa respectively. Results show that the low speed impact-resistance ability increases for B-3 and B-4 explosives and reduces for B-5 and B-6 explosives.

Key words: materials mechanics; additives; modified Comp. B; stress-strain curve; elastic modulus; compressive strength

CLC number: TJ55; TQ560.1; O341

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2014.03.016