

文章编号: 1006-9941(2002)02-0074-04

一类对撞击不敏感的新型炸药

黄辉, 董海山

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: 介绍一类对撞击、火烧等不敏感的新型炸药。它以聚合物弹性体——端羟基聚丁二烯 (HTPB) 为粘结剂, 奥克托今 (HMX) 或黑索今 (RDX) 为主体炸药的浇注固化炸药。这类炸药具有爆轰能量高、易损性低和环境适应性好等特点, 适用于高性能战斗部装药。

关键词: HTPB/HMX (RDX); 浇注固化; 低易损性

中图分类号: TQ560

文献标识码: A

1 引言

炸药及其装药的易损性直接影响武器装备及弹药的安全性和生存能力。为了最大限度地降低炸药装药的易损性, 提高武器装备的安全性, 主要研究途径是发展不敏感炸药^[1-3], 主要包括以钝感单质炸药 TATB 为基的高聚物粘结炸药 (PBX)、低模量的浇注固化炸药 (Cast Cured Explosives) 和其它非理想炸药。其中浇注固化炸药是一类由高能单质炸药作为主体炸药, 液体聚合物粘结剂和固化剂等制得的复合炸药, 此类炸药不仅具有低的模量和橡胶态的物理性能, 对破片、子弹及火焰等多种刺激均不敏感, 安全性能非常好^[4-7], 同时还具有高的爆轰能量和良好的环境适应性。这类炸药的制备采取真空浇注方式, 工艺简单, 装药质量好, 不存在 TNT/RDX 类熔铸炸药常见的内部缩孔和贮存中渗油等问题, 适用于高性能战斗部装药。

2 浇注固化炸药的制备

2.1 炸药的配方设计

在配方设计中, 聚合物粘结剂的选择及其粘结体系的设计是一个关键, 因为粘结剂的结构和性能直接影响复合炸药的力学性能和安全性能; 另一方面, 主体炸药的选择及其比例决定了复合炸药的爆轰性能。

经过试验, 选择低粘度的预聚体端羟基聚丁二烯 (HTPB) 作为粘结剂, 以甲苯二异氰酸酯 (TDI) 作固化

交联剂; 通过调节固化剂及其它助剂比例可获得优良的力学性能。主炸药则选择高能单质炸药奥克托今 (HMX) 或黑索今 (RDX), 为了提高复合体系的固相含量, 对固相填料 HMX 或 RDX 进行颗粒级配, 使体系固相含量高达 88% ~ 90%^[8]。

为了改善 HTPB 对 HMX 或 RDX 颗粒表面的粘结作用, 同时调节体系的流变性能以及固化后复合炸药的力学性能, 在体系中添加适量的功能助剂和工艺助剂。根据需要, 设计了几种添加金属铝粉 (Al) 和氧化剂高氯酸铵 (AP) 以及钝感单质炸药硝基胍 (NQ) 的复合炸药配方。配方组成见表 1。

表 1 几种浇注固化炸药配方

Table 1 Formulations of several cast cured explosives

炸药配方代号	配方组成
CD-01	RDX/HTPB = 85/15
CD-02	HMX/HTPB = 85/15
CD-03	HMX/HTPB = 88/12
CD-04	HMX/Al/HTPB = 68/20/12
CD-05	HMX/NQ/HTPB = 55/30/15
CD-06	RDX/Al/AP/HTPB = 35/23/32/10
CD-07	RDX/HMX/HTPB = 45/45/10

2.2 复合炸药的制备

采取浇注—固化的技术路线。

a. 原材料准备与配制

对主体炸药 HMX (或 RDX) 按要求的粒度范围进行分级、颗粒级配和干燥处理; 聚合物粘结剂 HTPB 及其它助剂须经真空干燥, 严格控制其水分含量。

按炸药配方比例准确称取各组分待用。

b. 物料的混合

收稿日期: 2002-02-22; 修回日期: 2002-04-22

作者简介: 黄辉 (1961 -), 男, 研究员, 发表论文 20 余篇, 合作编写专著一部, 获国防发明专利 2 项, 主要从事低易损性炸药研究和炸药精密装药技术研究等工作。

将固相物料和粘结剂及其它助剂按工艺要求依次加入行星式捏合机中,在真空、加热条件下,使各组分充分混合均匀,检测物料粘度,以获得具有良好流变性的糊状物料。

c. 真空浇注

将混合好的糊状物料放入真空浇注装置中,在加热保温条件下,先对物料进行真空处理,以排除物料中的气体和低分子挥发物,再将物料在真空作用下浇注到模具或弹体内。当物料粘度较大时,也可在振动下采用真空浇注方式。

d. 加热固化成型

浇注完成后,将注满糊状炸药的模具或弹体在一定温度下加热固化数天,复合体系因 HTPB 分子链的化学交联而固化成型,得到一种橡胶态的复合炸药。

3 复合炸药的主要性能

3.1 爆轰性能

采用标准测试方法,对几种复合炸药的爆轰性能进行测试和评价,结果见表 2。

表 2 几种复合炸药的爆轰性能
Table 2 Detonation performances of several composite explosives

炸药 配方代号	密度 /g · cm ⁻³	爆速 /km · s ⁻¹	爆热 /MJ · kg ⁻¹	2 吋圆筒试验比动能 /kJ · g ⁻¹
CD-01	1.58	7.86	5.08	1.16
CD-02	1.63	8.08	5.25	1.19
CD-03	1.68	8.35	5.59	1.34
CD-04	1.73	7.78	6.45	1.23
CD-05	1.60	7.64	4.52	-
CD-06	1.81	6.98	7.32	-
CD-07	1.67	8.25	5.60	1.32

常用的熔铸炸药 Comp. B,当密度为 1.69 g · cm⁻³ 时,爆速为 7.78 km · s⁻¹,爆热为 4.2 MJ · kg⁻¹,由表 2 可以看出,大部分复合炸药的爆轰性能优于 Comp. B。

3.2 安全性能

(1) 枪击试验

采用 Ø12.7 mm 直径子弹射击,装药尺寸为 Ø50 mm × 78 mm 的带壳炸药装药(密闭钢壳)。子弹初速为 870 m · s⁻¹,距离 13.5 m,在距靶 3 m 处 120° 对称方向放置压力传感器测量反应后所产生的空气冲击波超压。

试验结果表明,表 3 所列炸药装药,50% ~ 80% 的样

品未反应(有些壳体破裂),约 20% ~ 50% 样品发生缓慢燃烧,未转爆炸;复合炸药装药在枪击中所产生的冲击波超压均低于 Comp. B。枪击试验后的样品见图 1。



图 1 枪击试验后的炸药装药

Fig. 1 Explosive charge after bullet test

(2) 苏珊试验(Susan test)

这是一种射弹碰撞试验。射弹装药尺寸为 Ø50 mm × 100 mm,铝外壳,弹重为 5.44 kg,如图 2。



图 2 射弹弹丸(头部铝帽或小端中为炸药装药)

Fig. 2 Bullets of the projectiles (the explosive is inside head aluminum capsule or the small end)

利用火炮或空气炮将射弹发射靶,碰靶速度为 200 ~ 330 m · s⁻¹,炮口距靶 3.7 m,靶体为装甲钢靶/钢筋混凝土复合靶,通过高速摄影和压力传感器来观察和测量射弹碰靶后的反应情况及所释放的能量。

试验结果,在 200, 260, 300, 330 m · s⁻¹ 碰撞速度下,射弹被挤碎,仅残存后座,见图 3,试验结果见表 3。由此可见,几种复合炸药的反应等级(能量释放大小)均小于 TNT 和 Comp. B,其中 CD-05 反应等级最低,其次为 CD-03 和 CD-07,而含金属铝粉的 CD-04 反应等级稍高。绝大部分试验没有观察到有明显的爆轰发光,靶前散布有大量未反应的碎炸药块,表明装药大部分未反应。



图3 碰靶后的射弹后座及验证靶板

Fig.3 Projectile recoil and witness plate of impact target

表3 几种炸药的苏珊试验敏感度

Table 3 Susan test results for several explosive formulations

配方代号	能量释放/(TNT 当量/g)			
	碰靶速度/ $m \cdot s^{-1}$			
	200	260	300	330
CD-03	28	46	41	51
CD-04	36	66		
CD-05	18	24		
CD-07		38	40	50
Comp. B	120	160		
TNT	39	65	87	

(3) 燃料火烧试验

装药尺寸 $\varnothing 50 \text{ mm} \times 80 \text{ mm}$, 密闭钢外壳, 燃料(汽油)3 000 ml, 将带壳装药置于火焰中快速烤燃, 环境温度约 $850 \text{ }^\circ\text{C}$, 大约 15 min 后, 装药内部由于受热分解产生的气体将壳体端盖冲开, 气体带出被挤碎的药块(未反应), 残留在壳体内的装药在火烧烤燃中缓慢燃烧, 未转爆炸, 见图 4。反应等级低于 TNT 和 Comp. B。



图4 试验后的炸药装药

Fig.4 Explosive charge after cook-off test

(4) 大尺寸隔板试验

为了评价复合炸药的冲击波敏感度, 我们采用一种大尺寸隔板试验装置(见图 5)。

试验结果为: 当入射冲击波压力 $p = 2.3 \text{ GPa}$ 时, CD-03 炸药没有任何反应, 压力 $p = 2.56 \text{ GPa}$, 炸药仅发生温和反应(验证板无损, 附近有许多未反应炸药碎块), 未转为爆燃或爆炸, 其爆轰阈值 $\int p^2 d\tau = 44 \text{ Pa}^2 \mu\text{s}$, 较 TNT 及 Comp. B 更钝感; CD-04 炸药在 $p = 2.3 \text{ GPa}$ 时发生温和反应, $p = 1.8 \text{ GPa}$ 时无任何反应, 表明含铝复合炸药的冲击波敏感度较不含铝的 CD-03 有所提高, 但仍低于 Comp. B。

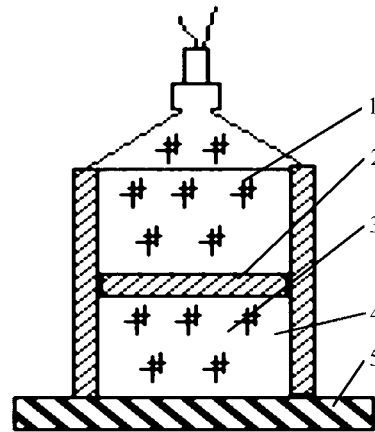


图5 隔板试验装置

1—低爆压炸药($\varnothing 100 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$), 2—隔板(钢或铝),
3—复合炸药试样($\varnothing 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$), 4—钢套(壁厚 $\delta = 20 \text{ mm}$),
5—钢验证板(厚 13.5 mm)

Fig.5 Apparatus for gap test

1—explosive with low detonation pressure($\varnothing 100 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$),
2—gap(steel or aluminum),
3—tested sample of composite explosive($\varnothing 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$),
4—steel shell(thickness of wall $\delta = 20 \text{ mm}$),
5—imprint plate(13.5 mm in thickness)

(5) 高速穿靶试验

试验弹装药量约 5.0 kg , 采用 152 mm 火炮发射, 靶体为 20 mm 厚 $45^\#$ 钢, 靶板距炮口 5 m , 穿靶速度为 $670 \sim 690 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 穿靶过载达 70 kg (减速), 穿靶后 CD-01、CD-03 装药均无任何反应, 表明这类复合炸药能承受很高的冲击过载作用, 而 Comp. B 在相同情况下都发生爆炸。

3.3 热安定性和环境适应性能

(1) 热安定性

按标准试验方法, 在 $120 \text{ }^\circ\text{C}$, 48 h 内, 以 HMX 为

基的复合炸药(如 CD-03)平均放气量为 $0.15 \sim 0.2 \text{ ml} \cdot \text{g}^{-1}$,热减量 为 $0.08\% \sim 0.12\%$;以 RDX 为基的复合炸药(CD-01)平均放气量为 $0.2 \sim 0.3 \text{ ml} \cdot \text{g}^{-1}$ 左右,热减量为 0.13% 左右,前者的 5 s 爆发点为 $316 \text{ }^\circ\text{C}$,后者为 $300 \text{ }^\circ\text{C}$ 。表明这类复合炸药具有优良的热安定性。

(2) 温度冲击试验

装药尺寸为:a. $\varnothing 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 的裸药柱;

b. $\varnothing 360 \text{ mm} \times 320 \text{ mm}$ 的带壳装药

(壳体为 A_3 钢,厚度 5 mm ,上端敞开)。

试验条件:在 $-55 \text{ }^\circ\text{C} \sim 60 \text{ }^\circ\text{C}$ 范围内进行温度交变冲击, $-55 \text{ }^\circ\text{C} \xrightarrow{1 \text{ min}} 60 \text{ }^\circ\text{C}$ (恒温 30 min) $\xrightarrow{1 \text{ min}} -55 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

经三个循环的交变冲击,装药无裂纹,尺寸稳定。而在相同条件下,常用的压制成型高聚粘结炸药(PBX)装药均产生了裂纹。

(3) 环境试验和贮存性能

用表 1 中的复合炸药装填导弹战斗部,按照环境试验要求,分别进行冲击试验、振动试验、高温、低温试验、温变冲击试验以及跌落试验等考核,装药性能均满足指标要求。

复合炸药分别经加速老化试验和长期贮存试验考核,炸药的相容性和安定性良好,其外观、尺寸、密度以及力学性能、爆轰能量和感度均没有明显变化,性能稳定。不存在以 TNT 为载体的熔铸类炸药(如 Comp. B)在长期贮存中渗油和尺寸长大等问题。

4 结 语

浇注固化炸药是一类综合性能优良的复合炸药,具有优异的力学性能和低易损性,对多种外界刺激均

不敏感,可承受高的冲击过载,安全性能非常好;由于这类复合炸药体系固相主炸药含量高达 $88\% \sim 90\%$,因而具有高的爆轰能量,而且能量范围可调节。

与传统的 TNT 为载体的熔铸炸药(如 Comp. B)相比,炸药装药质量高,内部无缩孔等缺陷,环境适应性和长期贮存性能好,是替代 Comp. B 的理想炸药,宜用作现代武器弹药及高性能导弹战斗部装药。

致谢:本项目的研究中,花平环、邹品环、陈启珍、阮庆云、向永、吕学国、郝莹、马丽莲、张孝仪、李广来、胡庆贤等同志在爆轰性能计算和炸药性能研究等方面作了大量的工作,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] Stosz M J. [R]. AD - A124401, 1982.
- [2] Mala J, et al. Comparison of cast PBX ballistic properties form cylinder and flyer plate tests [A]. Proc. of Intern. Symp. on Pyrotech, and Expl [C], 1987. 292 - 7.
- [3] Insensitive high energy explosive compositions [R]. AD - D013806, 1988.
- [4] Cook - off studies on the general purpose cast explosives PBXC-116 and PBXC-117 [R]. AD - A026525, 1976.
- [5] Hooton I E. Preliminary studies of HMX-based PBXs [A]. 21st Proceedings of ICT [C], Karlsruhe, Germany, 1990. 13 - 1.
- [6] Lavertu R R, et al. Impact insensitive composite explosive [R]. AD - A066569. 1978.
- [7] Freche A. Low vulnerability cast plastic bonded explosive [A]. 国际烟火技术与炸药学术会议论文集 [C], 北京, 1987: 276.
- [8] 黄辉. 浇注炸药颗粒级配的流变模型 [A]. 火炸药计量及技术研讨会 [C], 西安, 1990.

Studies on New Explosives Insensitive to Impact

HUANG Hui, DONG Hai-shan

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

Abstract: A kind of new explosives, insensitive to impact and fire, is introduced. The explosives belong to cast cured explosives, in which polymeric elastomer HTPB is used as binder, HMX or RDX as the main explosives. They have high detonation energy, low vulnerability and good surrounding properties, and they can be used in explosive charge of fighter with high performance.

Key words: HTPB/HMX(RDX); cast cured explosive; low vulnerability