

文章编号: 1006-9941(2014)04-0487-06

# 高格尼能钝感浇注 PBX 设计及性能

罗 观, 殷 明, 郑保辉, 汤 滢, 刘绪望, 代晓淦, 韩 勇, 黄 辉, 吴奎先

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘 要:** 通过系列浇注高聚物粘结炸药(PBX)的爆轰性能, 拟合得到爆速与 HMX 含量的线性关系, 研究了 HMX 颗粒特性及钝感剂含量对混合炸药机械感度的影响。结果表明, 采用高品质 HMX 和 3% 的钝感剂时, 混合炸药的安全性最好。在此基础上设计制备了一种组成及性能与 B2273A(HMX/丁羟粘结剂 90/10) 接近的 HMX 基高固相浇注 PBX 炸药 GO-1(HMX/丁羟粘结剂 90/10)。其摩擦感度和撞击感度分别为 5% 和 0, 冲击波感度  $I_{50}$  为 17.7 mm, 爆速为  $8587 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 格尼系数为 2.80, 爆轰性能、金属加速能力和安全性能优良, 该炸药在枪击试验、烤燃试验中均为燃烧的低反应等级。

**关键词:** 化学工程; 高聚物粘结炸药(PBX); 格尼能; 低易损性; 爆速

**中图分类号:** TJ55

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2014.04.012

## 1 引 言

破片杀伤战斗部和杀爆战斗部是目前常规武器中使用较多的战斗部, 它利用高能炸药引爆后形成高速破片、射流、爆炸成型弹丸(EFP)、高温以及高压等, 对目标产生穿透引燃或结构性毁伤。以格尼系数为关键特征参数的金属加速能力是评价其性能的主要指标。目前, 我国已有的金属加速炸药主要是以 TNT 为基的熔铸炸药及以 HMX 为基的压装高聚物粘结炸药(PBX)炸药, 炸药能量和金属加速能力等综合毁伤威力较好, 但安全性较差, 意外情况下易引发事故。不断研究和发 展高威力低易损炸药, 已成为弹药研究发展的重要方向<sup>[1-2]</sup>。浇注 PBX 具有能量高、易损性好、机械性能优良等特点, 已成为现代军用炸药发展的重点<sup>[3-5]</sup>。

国外高格尼能钝感浇注 PBX 炸药的 代表配方有 PBXTH3(HMX/丁羟粘结剂 87/13)、PBXGH3(HMX/GAP 粘结剂 87/13)<sup>[6]</sup>, 美国的 PBXN-110(HMX/丁羟粘结剂 88/12)<sup>[7]</sup>、法国新研制的 B2263A(RDX/丁羟粘结剂 88/12)、B2265A(RDX/

丁羟粘结剂 90/10)、B2273A(HMX/丁羟粘结剂 90/10)、B2276A(RDX/丁羟粘结剂 91/9)<sup>[8]</sup>, 部分炸药安全性已通过法国国防部 STANAG4170 标准的鉴定, 适用于不敏感装药的起爆药, 有望作为主装药在战斗部、中口径弹药中获得应用。而国内类似配方还很少, 由于浇注 PBX 炸药成型过程中的流变性及固相含量限制(最高 90% 左右), 进一步提高能量和低易损性具有较高难度。为此, 本研究以获得类似于法国 B2273A 的高固相低感浇注 PBX 炸药配方为主要研究目标, 通过分析 HMX 含量对爆速的影响规律及复合钝感剂含量对配方机械感度的影响规律, 设计制备出一种具有高格尼能钝感特征的 HMX 基浇注 PBX 炸药 GO-1, 开展了爆轰性能、圆筒试验、机械感度和火烧、枪击、冲击波等易损性试验和力学性能、热性能研究, 该炸药综合性能优良, 有望在破片杀伤战斗部和杀爆战斗部得到应用。

## 2 试验部分

### 2.1 材料及仪器

HMX, 甘肃银光化学工业集团有限公司; 端羟基聚丁二烯(HTPB), 甲苯二异氰酸酯(TDI), 均由黎明化工研究院提供; 复合钝感剂, 自制。

北京桂光厂 JXF-H200 型光学显微镜, 采用折光匹配显微方法。

### 2.2 试验样品制备

将干燥处理的 HTPB、HMX、TDI、复合钝感剂按比

收稿日期: 2013-07-16; 修回日期: 2013-09-22

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

作者简介: 罗观(1972-), 男, 副研究员, 主要从事含能材料理论及实验研究。e-mail: lg839@sohu.com

通信联系人: 郑保辉(1985-), 男, 博士, 主要从事材料科学与工程的研究。e-mail: zhengbaohui305@126.com

例混合, 65 °C 下真空浇注至模具, 加热固化 5 d, 开模后加工成各类试验件。为研究 HMX 含量对爆速的影响规律及 HMX 品质对安全性的影响, 设计了系列浇注 PBX 炸药配方 GO-1 (HMX/丁羟粘结剂 90/10)、GO-2 (HMX/丁羟粘结剂 88/12)、GO-3 (HMX/丁羟粘结剂 87/13) 和 GO-4 (HMX/丁羟粘结剂 92/8), 其 HMX 含量分别为 90%、88%、87% 和 92%, 其中 GO-1 使用的 HMX 为高品质颗粒, 其它配方均使用普通 HMX, 测试了相应的爆速、爆压、摩擦感度、撞击感度和冲击波感度。

### 2.3 测试方法和条件

#### (1) 爆轰性能

爆速与爆压测试分别按照 GJB 772A-1997 方法 702.1 (爆速-电测法) 和 704.2 (爆压-锰铜压力传感器法) 进行, 圆筒试验按 GJB 772A-1997 方法 705.2 标准圆筒试验法进行。

#### (2) 感度

撞击感度采用 GJB 772A-1997 炸药试验方法 609.1 (药片撞击感度-落锤仪法) 进行, 药量 50 mg, 落锤质量为 10 kg。摩擦感度采用 GJB 772A-1997 炸药试验方法 602.1 (摩擦感度-爆炸概率法), 药量 30 mg, 落锤质量为 10 kg。特性落高采用 GJB 772A-1997 炸药试验方法 601.2 (特性落高法), 药量 30 mg, 落锤质量为 5 kg。冲击波感度测试采用铝隔板法, 样品尺寸为  $\Phi 20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ , 以 JO-9159 炸药作为主发药, 用被测样品产生 50% 概率爆轰的隔板厚度 (即临界隔板厚度  $L_{50}$ ) 来表示受试炸药的冲击波感度。

#### (3) 易损性

枪击试验测试采用 GJB 772A-1997 603.2 试验方法, 使用 12.7 mm 机枪, 药柱尺寸为  $\Phi 50 \text{ mm} \times 76 \text{ mm}$ , 壳体厚度 3 mm。

烤燃试验模拟弹体内径 60 mm、高 120 mm、壁厚 3 mm, 装填约 0.6 kg 的 GO-1 炸药, 弹体两端用端盖封堵, 端盖与弹体通过螺纹连接, 装配图如图 1 所示, 弹体及端盖材料均为 45# 钢。试验过程采用热电偶测试炸药不同位置处的温度变化, 热电偶的具体排布方式见图 2, A 和 B 分别表示装药壳体内壁、中心处。分别以 1, 3, 10, 100 °C · min<sup>-1</sup> 的升温速率对炸药进行加热, 其中 100 °C · min<sup>-1</sup> 的升温条件由火烧试验获得。

#### (4) 力学性能

抗压强度采用 GJB772A-1997 方法 416.1 (抗压强度-压缩法), 试样规格  $\Phi 20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ ; 抗剪强度

采用 GTSB-210 方法, 试样规格为  $\Phi 20 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ ; 抗拉强度采用 GJB772A-1997 方法 413.1 (抗拉强度-直拉法), 试样规格为  $\Phi 15 \text{ mm} \times 65 \text{ mm}$  哑铃。



图 1 烤燃试验件装配实物

Fig. 1 Sample assembled for cook-off test

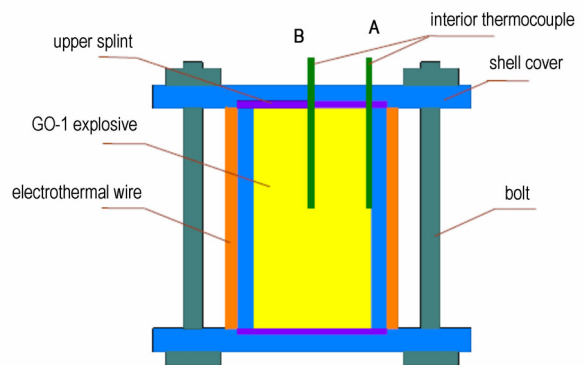


图 2 热电偶测试炸药不同位置排布情况

Fig. 2 Arrangement of thermocouples in the explosive

#### (5) 热性能

热安定性法采用 GJB 772A-1997 方法 501.2 (真空安定性试验——压力传感器法)、方法 502.3 (安定性和相容性——100 °C 加热法); 爆发点采用 GJB 772A-1997 方法 606.1 (爆发点——5 s 延滞期)。

## 3 结果与讨论

### 3.1 钝感浇注 PBX 的设计

#### 3.1.1 HMX 含量对爆速的影响

Asfaw<sup>[9]</sup> 认为金属加速能力主要取决于炸药的爆速和爆炸威力, 如表 1 所示, 几种炸药的圆筒试验结果也表明, 单质炸药的爆速越高, 圆筒试验壁速也越高 (TNT < TATB < CE < RDX < HMX)<sup>[10]</sup>, 金属加速能力与炸药的爆速高度一致。因此, 在混合炸药设计时, 兼顾爆速、金属加速能力、安全性等综合因素和潜在的应用需求, 本研究选用 HMX 作为金属加速炸药的主炸药。

表 1 几种炸药在不同膨胀距离 ( $R-R_0$ ) 的壁速<sup>[9-10]</sup>Table 1 The velocity of cylinder wall of several explosives at different expansion distance ( $R-R_0$ )<sup>[9-10]</sup>

explosive	detonation velocity/ $m \cdot s^{-1}$	$v/m \cdot s^{-1}$				
		6 mm	10 mm	15 mm	19 mm	24 mm
TNT	6928	1198	1299	1354	1371	1380
TATB	7619	1358	1415	1431	1433	1434
CE	7642	1372	1494	1538	1547	1550
RDX	8661	1556	1644	1722	1764	1799
HMX	9010	1671	1743	1810	1847	1880

按 GJB772A-1997 方法 702.1 测试 GO-1、GO-2、GO-3 和 GO-4 的爆速,结果如图 3 所示。据图 3 对爆速和 HMX 质量含量 (87%~92%) 进行线性拟合,得  $Y=5454.9+33.4X$  ( $X$  为 HMX 的质量分数,%;  $Y$  为实测爆速,  $m \cdot s^{-1}$ )。该式仅以固相含量 (HMX 的质量分数) 来估算混合炸药爆速,避免了 BKW、VLW 状态方程、KamLet 方法等繁琐的数学计算。此线性拟合的相关系数为 98.9%,爆速计算误差比传统方法小,可以作为高固相含量浇注 PBX 炸药爆速精确设计的一种简便方法。

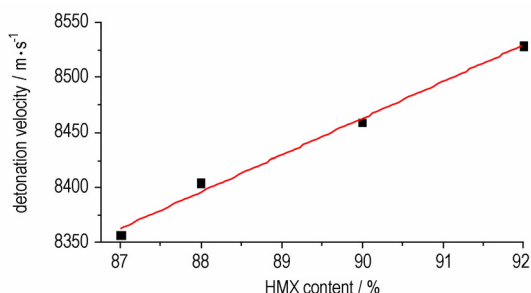


图 3 HMX 含量和实测爆速的拟合关系式

Fig. 3 Fitted relationship between HMX content and practical detonation velocity

炸药爆速随固相含量的增加而升高,但炸药固相含量还受到制备工艺的制约,HMX 含量在 87% 以下的炸药配方,其制备工艺已日臻成熟,但当 HMX 含量超过 90% 时,PBX 炸药成型过程的流变性、成分均匀性和成型质量均大幅下降,法国 Mahé 也仅于 2012 年获得工艺可靠的高固相浇注 PBX 炸药 B2273A (HMX/丁羟粘结剂 90/10)<sup>[8]</sup>,因此本研究选取固含量为 90% 的 HMX 基浇注 PBX 炸药 GO-1 作为高格尼能钝感金属加速炸药配方,对其爆轰、安全等性能进行研究。

### 3.1.2 高品质 HMX 对安全性的影响

对普通 HMX 的钝化处理,可使炸药晶体缺陷更

少、外形更光滑、晶体密度更高,有利于降低炸药的感度,提高安全性。中国工程物理研究院化工材料研究所在 HMX 钝化处理方面做了大量的研究工作<sup>[11-13]</sup>,采用经钝化处理后的 HMX 作为原材料进行安全性试验,与普通 HMX 相比,处理后的 HMX 的晶体缺陷和孛晶显著减少,如图 4 所示。

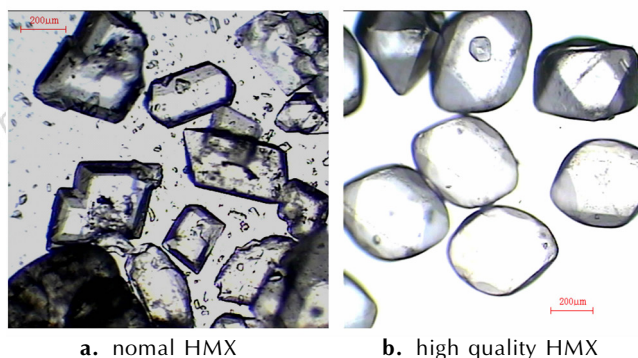


图 4 HMX 的折光匹配光学显微镜照片

Fig. 4 Optical microscopy photographs of HMX with matching refractive index

GO-1、GO-2、GO-3 的机械感度和冲击波感度结果见表 2。由表 2 可见,GO-1 的机械感度和冲击波感度低于 GO-2 和 GO-3,这是因为 GO-1 配方中含有高品质晶体 HMX,而且含量较高(90%),说明 HMX 的颗粒品质对混合炸药的机械感度和冲击波感度的影响显著。

表 2 普通 HMX 和高品质 HMX 炸药配方的机械感度

Table 2 Mechanical sensitivity of various formulations using normal HMX and high quality HMX

explosive	HMX	impact sensitivity/%	friction sensitivity/%	shock-wave sensitivity/mm
GO-1	high quality	0	4~8	17.7
GO-2	normal	28	20	—
GO-3	normal	24	14	18.1

### 3.1.3 复合钝感剂含量对安全性的影响

钝感剂是浇注炸药粘结剂体系的重要组成部分,采用合适的钝感剂及用量对降低配方中高固含量的 HMX 的感度具有重要意义。钝感剂用量过少,达不到良好的降感效果,若其用量过高,则会影响其成型性能和贮存性能,甚至降低配方的整体密度,从而降低配方能量,因此本研究自制了一种复合钝感剂,与炸药相容性好,兼有一定的粘结成粒作用,研究了其含量分别为 0%、1%、2%、3%、4% 时对混合炸药 GO-1 机械感度的影响,如图 5 所示。

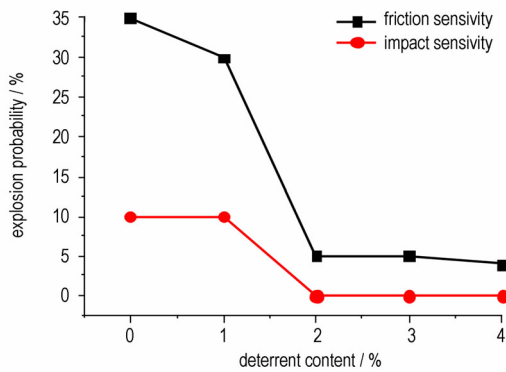


图5 自制复合钝感剂对GO-1配方机械感度的影响

Fig. 5 Influence of self-made deterrent content on the mechanical sensitivity of GO-1

由图5可见,随着复合钝感剂用量的增加,摩擦感和撞击感度均呈下降趋势,当用量为2%时两者已分别降至5%和0;而继续增加复合钝感剂用量至3%和4%时,摩擦感和撞击感度基本不变。分析其原因为复合钝感剂含量低于2%时,对高固含量的HMX包覆不完全导致感度相对较高;而含量达到2%后,复合钝感剂和HMX粒子已充分浸润包覆,同时由于材料间本身物化性质的限制,机械感度在达到一定值后不再发生明显变化,故确定复合钝感剂含量为2%~3%。

根据以上研究,最终确定了一种以高品质HMX为主炸药的浇注PBX炸药GO-1,固相含量为90%,钝感剂用量为3%,实验测得特性落高( $H_{50}$ )大于112.2 cm,其较低的机械感度为低易损性能奠定了良好基础。

### 3.2 GO-1炸药的能特性

#### 3.2.1 GO-1炸药的金属加速能力

炸药的金属加速能力一般用格尼能,即格尼系数来表示,由GJB 772A-1997方法705.2标准圆筒试验测试得到,GO-1和GO-2配方的圆筒试验结果见表3。由表3可见,GO-1的壁速和比动能高于GO-2,计算得到GO-1和GO-2的格尼系数为2.80和2.77,说明GO-1驱动金属的作功能力较强,在对破片威力要求高的杀伤类战斗部装药有更佳的应用前景。

表3 GO-1、GO-2的圆筒试验结果

Table 3 Cylinder test results of GO-1 and GO-2

explosive	$\rho$ /g · cm <sup>-3</sup>	$v$ /m · s <sup>-1</sup>		$E$ /kJ · g <sup>-1</sup>	
		5 mm	19 mm	5 mm	19 mm
GO-1	1.725	1303	1660	0.849	1.378
GO-2	1.685	—	1634	—	1.334

Note:  $v$  is the wall velocity of cylinder;  $E$  is the ratio energy of cylinder.

#### 3.2.2 GO-1炸药的爆轰性能

测试了GO-1炸药的密度、爆速、爆压,结果见表4。为了比较,同时给出了PBXN-110、B2273A和B2276A的文献结果。由表4可见,GO-1的爆速和爆压高于PBXN-110、B2273A和B2276A,表明炸药GO-1具有较好的爆轰性能,这主要是因为GO-1采用的是高品质HMX,球形颗粒使材料的堆积更为致密,孔隙率下降,密度和爆速升高。

表4 炸药的密度和爆轰性能

Table 4 Detonation properties and density of four explosives

explosive	density /g · cm <sup>-3</sup>	detonation velocity /m · s <sup>-1</sup>	detonation pressure /GPa
GO-1	1.725	8587	31.0
PBXN-110 <sup>[7]</sup>	1.685	8370	29.5
B2273A <sup>[8]</sup>	1.715	8500	31.0
B2276A <sup>[8]</sup>	1.655	8300	28.5

### 3.3 易损性试验

#### 3.3.1 枪击试验

对GO-1进行了四发有效枪击试验,结果见图6。根据GJB 772A-1997 603.2试验方法对反应等级的判定,四发GO-1炸药测试样品在被击中后反应等级均为燃烧,且测得的超压约为3.0 kPa左右,表明GO-1炸药在枪击作用下反应等级较低,具有较好的抗子弹撞击能力。



a. burning shells      b. recovered debris of shells

图6 GO-1炸药枪击试验现象及回收残骸

Fig. 6 Experimental phenomenon of bullet impact test and the recovered debris

#### 3.3.2 烤燃试验

GO-1的烤燃试验结果见表5和图7,除升温速率为100 °C · min<sup>-1</sup>快烤试验外,随着升温速率的增加,壳体内壁的温度与炸药中心温度差值变大,当壳体内壁温度超过200 °C后出现了爆响,随后炸药发生燃烧反应。由图7可知,试验后的壳体仅发生了破裂变形,并没有出现破片,可以确定在不同升温速率下GO-1炸药烤燃结果均为燃烧的低反应等级,从图7的试验

样品及残骸表明,升温速率愈小反应愈剧烈,这是因为升温速率越小药柱表面达到爆响温度的时间越长,炸药与环境间可进行充分的热量传递,药柱中心的温度越高,爆响前积聚的热量也越多,从而使壳体的破坏更为明显。

表 5 不同升温速率下 GO-1 炸药反应烈度

Table 5 Response grade of explosive under different heating rate

heating rate / $^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$	detonation time /min	detonation temperature/ $^{\circ}\text{C}$		overpressure /kPa	response grade
		position A of shell	position B of shell		
1	198	202.3	178.9		
3	73	228.7	157.8		
10	33	202.7	94.2	undetected	combustion
100	1.4	—	—		

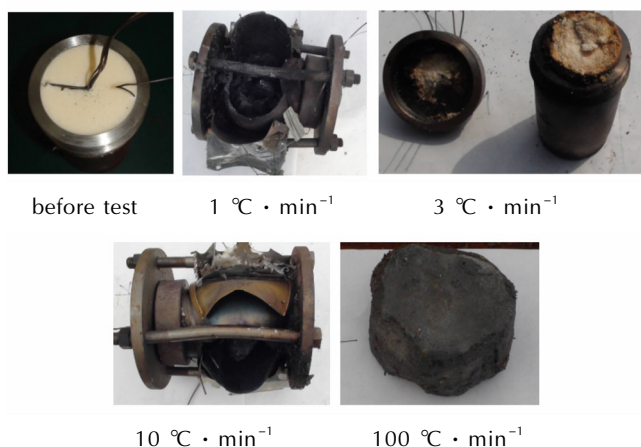


图 7 试验样品及残骸

Fig.7 Samples before and after cook-off test at different heating rate

### 3.4 力学性能

依照力学标准试验方法测得 GO-1 炸药的抗压强度为 3.82 MPa、抗剪强度为 2.94 MPa、抗拉强度为 1.19 MPa,力学性能优于美国钝感弹药配方 PBXN-110 的仿制型 GO-924(GO-924,抗压强度 2.82 MPa、抗拉强度 1.0 MPa),具有较好的成型性能。

### 3.5 热性能

采用真空安定性试验测得放气量为  $0.026 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$  ( $100^{\circ}\text{C}$ , 48 h), 低于  $2.0 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$  的通用标准,安定性合格。 $100^{\circ}\text{C}$  加热法测定结果为: 第 1 个 48 h 增重 0.12%, 第 2 个 48 h ( $100^{\circ}\text{C}$ ) 失重 0.08%, 加热后 GO-1 炸药未发生爆炸。实验还测得其 5 s 爆发点为  $305^{\circ}\text{C}$ , 测试结果表明 GO-1 炸药热安定性良好。

## 4 结 论

HMX 含量为 87%~92% 范围内的高固相浇注 PBX 炸药,其爆速与 HMX 含量呈线性关系;以高品质 HMX 取代普通 HMX 可以明显提高混合炸药的安全性;机械感度随着复合钝感剂用量的增加而降低,复合钝感剂用量在 2% 时,摩擦感度和撞击感度分别为 5% 和 0;以此确立了高格尼能钝感浇注 PBX 炸药 GO-1 的组成,此混合炸药以高品质 HMX 为固相,比例达 90%,钝感剂用量为 3%,格尼系数 2.80,爆速  $8587 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,在枪击试验和快、慢烤燃等易损性试验中,其反应程度均为低反应燃烧等级,在对易损性要求较高的破片、杀爆类战斗部中有较好的应用前景。

### 参考文献:

- [1] 董海山. 钝感弹药的由来及重要意义[J]. 含能材料, 2006, 14(5): 321-322.
- [2] Dong Hai-shan. The importance of insensitive munitions[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2006, 14(5): 321-322.
- [3] 高立龙, 王晓峰, 南海, 等. PMX-1 炸药易损性试验研究[J]. 含能材料, 2010, 18(6): 699-701.
- [4] GAO Li-long, WANG Xiao-feng, NAN Hai, et al. Experimental study on vulnerability of the explosive PMX-1[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)* 2010, 18(6): 699-701.
- [5] 罗观, 黄辉, 张明, 等. 可浇注固化 PBX 类含铝炸药低易损性研究[J]. 含能材料, 2004, 12(1): 20-22.
- [6] LUO Guan, HUANG Hui, ZHANG Ming, et al. Study on low vulnerability of cast-cured PBX aluminized explosive[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2004, 12(1): 20-22.
- [7] Radwan M. Explosive characteristics of aluminized PBXs based on HMX and polyurethane binder[C]// 32<sup>nd</sup> International Annual Conference of ICT, 2001, P44/1-9.
- [8] Plaksin I, Campos J, Mendes R, et al. Shock sensitivity and detonation performance of PBX formulations based on the RS-RDX, RS-HMX and fine/ultra-fine HE particles bonded with the inert binders[C]// 39<sup>th</sup> International Annual Conference of ICT, 2008, V028/1-17.
- [9] Elsharkawy K K, Mostafa H E, Radwan M A. Preparation and characterization of advanced plastic bonded explosives (PBXs) for low sensitive fragmentation warheads[C]// 43<sup>rd</sup> International Annual Conference of ICT, 2012, P44/1-10.
- [10] 刘霖, 高晓东, 靳克, 等. 浅钻地弹战斗部的发展[C]// 含能材料与钝感弹药技术学术研讨会, 三亚, 2012: 582-584.
- [11] Mahé B. A new cast cured PBX formulation B2276A[C]// International Annual Conference of ICT, 2012, V3/1-9.
- [12] Asfaw Y. Structural design and analysis of an existing aerodynamically optimized mortar shell[D]. School of graduate studies, Addis Ababa, Ethiopia, 2008.
- [13] 王克强. 炸药的加速金属能力与分子结构关系的探讨[J]. 火焰

药学报, 1998(1): 30-33.

WANG Ke-qiang. Studies on the relationship between molecular structure of explosives and their ability for accelerating metal[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 1998(1): 30-33.

[11] 徐瑞娟, 康彬, 黄辉, 等. 降感 HMX 性能表征[J]. 含能材料, 2010, 18(5): 518-522.

XU Rui-juan, KANG Bin, HUANG Hui, et al. Characterization and properties of desensitized octogen [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2010, 18(5): 518-522.

[12] 徐容, 李洪珍, 黄明, 等. 球形化 HMX 制备及性能研究[J]. 含

能材料, 2010, 18(5): 505-509.

XU Rong, LI Hong-zhen, HUANG Ming, et al. Preparation and properties of rounded HMX [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2010, 18(5): 505-509.

[13] 李玉斌, 黄亨建, 黄辉, 等. 高品质 HMX 的包覆降感技术[J]. 含能材料, 2012, 20(6): 680-684.

LI Yu-bin, HUANG Heng-jian, HUANG Hui, et al. Desensitizing technology of high quality HMX by coating [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2012, 20(6): 680-684.

## Design and Performance of an Insensitive Cast PBX with High Gurney Energy

LUO Guan, YIN Ming, ZHENG Bao-hui, TANG Yin, LIU Xu-wang, DAI Xiao-gan, HAN Yong, HUANG Hui, WU Kui-xian

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

**Abstract:** Based on the detonation velocities of a series of cast polymer bonded explosive(PBX) formulations, a linear relationship was obtained by fitting the data between detonation velocity and HMX content. Both the influence of HMX particle property and the composite deterrent content on the mechanical sensitivity were investigated. Using high quality HMX as major explosive, the safety of composite explosives was the best when adding 3% composite deterrent. Then a new HMX based cast PBX explosive GO-1 with high solid loading content was designed, and its friction sensitivity, impact sensitivity, shock-wave sensitivity, detonation velocity and Gurney coefficient were 5%, 0, 17.7 mm, 8587 m · s<sup>-1</sup> and 2.80, respectively, which showed perfect on safety, detonation velocity and ability for accelerating metal. And in the low vulnerability examination including bullet impact test, slow cook-off and fast cook-off test, all the reaction grade were combustion. So the new explosive has wide application foreground in fragment and EFP warhead.

**Key words:** chemical engineering; polymer bonded explosive(PBX); Gurney energy; low vulnerability; detonation velocity

**CLC number:** TJ55

**Document code:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2014.04.012