

一种以2[#]炸药为主要成份的 塑料粘结炸药

李秉仁

(西南化工材料和工艺研究所)

摘要 2[#]炸药〔重(β . β . β -三硝基乙基-N硝基)乙二胺〕是一个零氧平衡的高能炸药。在2[#]炸药中混入少量HMX,以氟橡胶粘结,以TATB、石墨和石蜡组成的复合钝感剂来钝感,得到了撞击感和摩擦感度较低的B-01炸药配方。配方组成为2[#]炸药/HMX/TATB/氟橡胶/聚苯乙烯/石墨/石蜡=70/22/4/2/0.5/0.5/1。

该配方的特点是冲击波感度很高,很容易用2 mm直径的柔爆索起爆。其撞击感度与TNT相当($\leq 4\%$),摩擦感度低于14%,爆轰能量相当于PBX-9404,而且容易在低比压下制成不同形状,因此它适用于某些特殊用途的装药。

关键词 塑料粘结炸药,重(β . β . β -三硝基乙基-N硝基)乙二胺,高能炸药。

1. 前言

2[#]炸药〔重(β . β . β -三硝基乙基-N硝基)乙二胺〕是我国使用过的一种较好的高能炸药。其特点是能量高(高于HMX)和起爆延迟期短,原料广泛,价格较低(比HMX便宜得多)。但因其机械感度高,降感困难,多年来未能获得广泛应用。经过近年来的研究,我们初步认识到一些影响2[#]炸药感度的因素和基本规律,发现了效果较好的钝感剂,摸索出降低感度的途径,使2[#]炸药的机械感度降到较低水平。本文介绍的B-01炸药就是在2[#]炸药钝感研究的基础上研制的一个以2[#]炸药为主要成份的应用配方。它是为要求能被柔爆索直接起爆、厚度为2~3 mm的薄炸药件,而专门研制的一种塑料粘结炸药。

2. 配方研究及特点

B-01炸药配方的研究突出了以下特点:

(1) 能被柔爆索直接可靠地起爆

B-01配方以2[#]炸药作为主要成份。由于2[#]炸药的一个突出特点是它的冲击波感度显著高于其他炸药,(参见表1的隔板试验结果),因而使B-01炸药具有良好的冲击引爆性能。在被外径为2 mm的HMX装药铝壳柔爆索或外径2.5 mm的HNS装药银壳柔爆索起爆时,都能可靠地爆轰。而现在使用的其他PBX被上述柔爆索起爆均不可靠。

(2) 具有较低的机械感度

2[#]炸药的冲击波感度虽高,很适合用于配方主炸药,但其机械感度(特别是摩擦感度)

表 1 一些炸药的隔板试验结果

炸药名称	密度 g/cm ³	空隙度 %	铝隔板值 mm
TNT	1.625	1.50	21.86
TNT/RDX(40/60)	1.697	3.08	20.10
PB-RDX	1.719	3.32	22.83
PB-HMX	1.854	2.01	22.61
PB-PETN	1.737	1.31	25.94
PB-2*	1.819	2.31	27.40

• 主发药柱为 $\phi 20 \times 40$ mm 的 PB-RDX, 密度为 1.727 ± 0.02 g/cm³, 被发药柱尺寸为 $\phi 20 \times 40$ mm。

也高。因此, 为了保证配方在成型、加工及使用过程中的安全, 必须设法降低2*炸药的机械感度。我们从多方面进行了探索研究。通过大量的工作, 终于摸索出降低感度的途径:

(a) 应用了钝感炸药 TATB 作为活性钝感剂, 并进而采用了 TATB-石墨-石蜡复合钝感剂, 对2*炸药的降感收到了显著效果, 使2*塑料粘结炸药的感度得到大幅度降低: 撞击感度 $\leq 4\%$, 摩擦感度 $\leq 30\%$ (TATB 含量在4.5%以上), 见表2。

表 2 TATB-G-W 复合钝感剂对2*炸药的钝感效果

序号	配方组成 %					撞击感度 %	摩擦感度 %
	2*	TATB	F	G	W		
1	86.5	10	2	0.5	1	0	20
2	88.5	8	2	0.5	1	4	8
3	92	4.5	2	0.5	1	0	28

• F-氟橡胶23-11, G-石墨, W-石蜡。(下同)

(b) 采用了在2*单质炸药中混入部分 HMX 单质炸药, 以改善主炸药体系的物理化学性质, 然后再以 TATB-G-W 复合钝感剂钝感, 使配方的撞击感度和摩擦感度进一步降低, 达到了更低的水平: 撞击感度 $\leq 4\%$ (500发), 摩擦感度 $\leq 12\%$ (500发), 见表3。

表 3 2*炸药中混入 HMX 单质对感度的影响

序号	配方组成 %						撞击感度 %	摩擦感度 %
	2*	HMX	TATB	F	G	W		
1	86	6	4.5	2	0.5	1	0	0
2	80	12	4.5	2	0.5	1	4	12
3	70	22	4.5	2	0.5	1	4	0
4	60	32	4.5	2	0.5	1	4	4
5	46	46	4.5	2	0.5	1	4	8

B-01配方应用了这些2*炸药降感研究的成果，因此其机械感度达到了较低的水平。

(3) 能量高，可与PB-HMX炸药相媲美

B-01炸药配方中含有96%的炸药组份，而且以能量高的2*炸药为主要成份，惰性附加剂只有4%，因此其能量水平达到，并超过了PB-HMX炸药，是一个能量很高的炸药配方。

(4) 综合性能较好

B-01配方在降感研究的基础上，又经过大量试验工作，进行了粘结剂、增塑剂、增强剂的选择，最后筛选确定了综合性能最佳的配方组成。它可在较低的比压下，压制成直径100 mm，厚度2~3 mm形状复杂的薄炸药件，机械加工性能、力学性能、热安定性及贮存性能等均达到了使用要求，是一个具有一定特色，且综合性能较好的炸药配方。B-01炸药的配方组成如表4。

表4 B-01炸药的配方组成(重量百分数)

组份	2*	HMX	TATB	F	PS	G	W
配比%	70	22	4	2	0.5	0.5	1

•PS-聚苯乙烯。

3. B-01炸药的性能

(1) 爆轰性能

B-01炸药的爆轰性能是用 $\phi 100 \times 80$ mm的药柱测定的，数据列于表5。

表5 B-01炸药的爆轰性能*及与PB-HMX炸药的比较

炸药名称	实测密度 g/cm ³	相对密度 %	爆速 m/s	爆压 GPa	爆热 kJ/kg	爆容 m ³ /kg	飞片速度 m/s	爆轰产物 多方指数 γ	能量密度 kJ/cm ³
B-01	1.8185	98.1	8665	36.24	5726.7	7.64×10^{-1}	4547	2.77	10.26
PB-HMX	1.860	98.4	8862	36.84	5262.8	8.83×10^{-1}	4557	2.97	9.34

•爆压及飞片速度的测试条件见[1]。

(2) 冲击引爆性能

(a) 隔板试验

B-01配方 $\phi 20$ mm隔板试验结果如表6。

表6 B-01炸药的隔板试验结果及与PB-HMX、PB-PETN炸药的比较

炸药名称	试件密度 g/cm ³	铝隔板值 mm	空隙率 %
B-01	1.7990	26.68	2.79
PB-HMX	1.8540	22.61	2.01
PB-PETN	1.7370	25.94	1.31

从试验结果可知，B-01炸药的冲击波感度是较高的。

(b) 柔爆索引爆试验

以 HNS- $\phi 2.5$ -Ag 和 HMX- $\phi 2$ -Al 两种规格的柔爆索（输出压力分别为 15.1 GPa 和 15.8 GPa）引爆 $\phi 20 \times 20$ mm, $\phi 30 \times 10$ mm, $\phi 100 \times 2$ mm（带 Cu 飞片或 Al 飞片）等不同规格的 B-01 炸药试件数十发，均能完全爆轰。试验表明 B-01 炸药能被柔爆索直接可靠地引爆。为了便于比较，对 PB-HMX 和 PB-RDX 等炸药进行了柔爆索起爆的对比试验，结果列于表 7。

表 7 几种炸药的柔爆索起爆对比试验*

引爆用柔爆索	受爆炸药	受爆试件发数	爆轰发数	未爆发数
HMX- $\phi 2$ -Al	B-01	2	2	0
	PB-HMX	3	0	3
	PB-RDX	1	0	1
HNS- $\phi 2.5$ -Ag	B-01	2	2	0
	PB-HMX	2	0	2
	PB-RDX	2	1	1

* 起爆试验用的雷管相同，柔爆索长度为 100 mm，HMX- $\phi 2$ -Al 的输出压力为 15.8 GPa，HNS- $\phi 2.5$ -Ag 的输出压力为 15.1 GPa，受爆试件规格为 $\phi 20 \times 20$ mm，均为压制成型，相对密度在 97% 以上，起爆面未经加工处理。

(3) 机械感度

对 B-01 炸药造型粉的撞击感度和摩擦感度进行了测试，试验条件均为标准条件，试验结果列于表 8。

表 8 B-01 炸药的机械感度

样品来源	撞击感度 %	摩擦感度 %	特性落高 cm
百克量级	0	4	-
五公斤级	2 (5 批)	14 (5 批)	78 (2 批)

(4) 成型加工性能

B-01 炸药在不同的比压下均能钢模一次压制成型外观良好的药柱及 $\phi 60 \times 2$ mm、 $\phi 100 \times 2$ mm 等规格的薄炸药件。在 98.07 MPa (1000 kg/cm^2) 比压下，压制 $\phi 100 \times 42$ mm 药柱 35 发，平均密度达 1.819 g/cm^3 ，相对密度为 98.1%。B-01 炸药压制件的加工性能良好，可以加工成 $\phi 60 \times 5$ mm、 $\phi 60 \times 3$ mm、 $\phi 60 \times 2$ mm 等薄药片，也可以加工成 $\phi 5 \times 60$ mm 细长药柱，其车削面平整光滑、棱角清晰。

B-01 炸药在研制过程中，已在不同的成型条件下压制各种规格的药柱及炸药部件数百发，经机械加工数十发，在成型及加工过程中，均未发生任何不安全迹象。

(5) 力学性能

B-01 炸药在常温下的力学性能列于表 9。

在温度 40℃ 下，B-01 炸药的强度虽然有所降低，但从该温度下 B-01 炸药压缩强度及

表 9 B-01 炸药在常温下的力学性能

压缩强度 MPa	劈裂强度 MPa	拉伸强度 MPa
21.57 (211.6 kg/cm ²) (密度 $\rho=1.811\text{g/cm}^3$)	— (21.5 kg/cm ²) (密度 $\rho=1.807\text{g/cm}^3$)	2.40 (23.6 kg/cm ²) (密度 $\rho=1.826\text{g/cm}^3$)

劈裂强度的测试结果来看，仍优于 TNT/RDX 炸药在常温下的强度。

(6) 热学性能

(a) 热物理、化学性能

B-01 炸药的热物理、化学性能的测试结果如表10。

表 10 B-01 炸药的热物理、化学性能

比热 kJ/kg·°C	热扩散率 m ² /s	导热系数 w/m·°C	线胀系数 1/°C	燃烧热 kJ/kg
1.13	1.26×10^{-7}	2.52×10^{-1}	6.21×10^{-5}	9.136×10^3

(b) 热安定性

B-01 炸药的热安定性如表11。

表 11 B-01 炸药的热安定性

热失重 % (100°C - 48 h)	真空安定性放气量 ml/g (100°C - 48 h)	差热分析放热峰 °C
0.25	0.51	186.0

(c) 热贮存试验

B-01 炸药压制成 $\phi 30 \times 10$ mm 的药柱和 $\phi 60$ mm, $\phi 100$ mm 炸药件在 45°C 下进行了 20 天热贮存试验。为便于比较,对 TNT/RDX (35/65)、PB-RDX、PB-HMX 等炸药的 $\phi 30 \times 10$ mm 药柱也同时进行试验。其结果所有试件外观均完好无损,贮存后的尺寸密度变化情况列于表12。

表 12 几种 $\phi 30 \times 10$ mm 药柱经 45°C、20 天贮存后的尺寸、密度变化

试件名称	径向残余变形		轴向残余变形		密度变化		
	绝对值 mm	相对值 %	绝对值 mm	相对值 %	贮存前 g/cm ³	贮存后 g/cm ³	变化量 g/cm ³
B-01	0.013	0.043	-0.003	-0.030	1.8036	1.8003	-0.0033
TNT/RDX (35/65)	0.084	0.280	0.062	0.620	1.7066	1.6745	-0.0321
PB-RDX	-0.010	-0.030	-0.004	-0.040	1.6497	1.6477	-0.0020
PB-HMX	0.006	0.020	-0.025	-0.250	1.8428	1.8455	+0.0027

从贮存试验结果可知, B-01 炸药的尺寸、密度变化较小, 其热贮存性能显著优于 TNT/RDX (35/65) 炸药, 而和 PB-RDX 炸药较为接近。另外, 在热贮存试验中, B-01 炸药试件还经受了由 45℃ 至 20℃ 室温的温度突变, 试件完好无损, 外观无明显变化。

4. 结束语

在 2* 炸药钝感研究的基础上研制的 B-01 炸药配方能量高、机械感度低、冲击引爆性能好。它的研制成功显示了在高能炸药应用领域内, 2* 炸药仍然有着光明的前景。

参加 B-01 炸药研制工作的还有李鲜明、吴春芝、周玉琪 等同志。本课题曾得到董海山研究员和方乃相研究员的关心和支持, 并得到有关分析、测试岗位的同志大力协助, 在此深表谢意。

参 考 文 献

- [1] 董海山等, 塑料粘结硝基胍炸药的性能, 爆炸与冲击, 1 (1981), 77.

A PLASTIC BONDED EXPLOSIVE BASED ON BIS(β, β, β -TRINITROETHYL-N-NITRO) ETHYLENEDIAMINE

Li bingren

(*Southwest Institute of Chemical Material and Technology*)

ABSTRACT Bis (β, β, β -trinitroethyl-N-nitro) ethylenediamine (BTENED) is a zero-oxygen balanced high explosive. A plastic bonded explosive B-01 with low sensitivity to impact and friction is obtained on BTENED. The formulation is BTENED/HMX / TATB/Kel-F/polystyren /graphite/was = 70/22/4 / 2 / 0.5/1. B-01 is characterized by its high shock sensitivity and therefore, can be directly initiated with 2 mm-diam, mild detonating fuse. It's sensitivity to impact is $\leq 4\%$, to friction is less than 14% and detonation energy is comparable to that of PBX-9404. Because of its ability for being compressed into different shapes with low specific pressure, B-01 is promising in some special applications.

KEY WORDS plastic bonded explosive, Bis (β, β, β -trinitroethyl-N-nitro) ethylenediamine, high energy explosive.