

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2013.02.006

乳化炸药损伤对爆炸性能的影响^{*}

郑思友^① 夏 斌^① 何 振^① 刘 磊^②

①煤炭科学研究总院爆破技术研究所(安徽淮北,235000)

②昆明理工大学国土资源学院(云南昆明,650093)

[摘 要] 对化学敏化、珍珠岩敏化、玻璃微球敏化的 3 种乳化炸药进行静空气压力、静水压力和机械摩擦模拟损伤试验研究。在 0.6MPa 静空气压力作用下,3 种乳化炸药的作功能力分别下降了 1.89%、3.92%、1.64%,爆速分别下降 4.72%、4.84%、3.15%;在 0.6MPa 静水压力作用下,3 种乳化炸药的作功能力分别下降了 21.05%、27.57%、23.16%,爆速分别下降 11.16%、14.36%、12.15%;在机械摩擦作用 15min 后,作功能力分别下降了 1.12%、4.97%、3.74%,爆速分别下降 1.87%、7.56%、6.91%。结果表明,在静空气压力及机械摩擦作用下,3 种乳化炸药爆炸性能衰减较小,作功能力衰减幅度小于爆速;在静水压力作用下,3 种乳化炸药爆炸性能衰减较大,作功能力衰减幅度大于爆速。

[关键词] 乳化炸药 损伤 静空气压力 静水压力 机械摩擦 爆炸性能

[分类号] TD235.2⁺1 TJ55

引言

乳化炸药损伤指乳化炸药在外界因素作用下发生的力学性能劣化,导致体积单元破坏,氧化剂析晶、油、水相界面结构遭到破坏,破乳,组分失效,形状尺寸以及密度变化等乳化炸药宏观或微观结构状态的一种不可逆的演变过程。损伤使乳化炸药的热点源减少,起爆感度降低,爆炸性能下降,严重的会造成乳化炸药有效质量流失,或炸药失效而拒爆。

乳化炸药在静压^[1-2]、动压^[3-7]作用下的减敏效应和乳化炸药的抗水性能^[8-9]等方面的研究都属于乳化炸药的损伤研究范畴,已有较多报道。本文首次利用弹道抛掷试验研究静空气压力、静水压力和机械摩擦作用造成乳化炸药损伤后对其爆炸性能的影响。弹道抛掷试验测试药量大,可达几百克,在测试做功的同时可测试样的爆速;测试结果准确、可靠,并能反映出不同品种或不同爆轰特征的炸药作功能力差异^[10-11]。

1 实验部分

1.1 弹道抛掷实验装置

弹道抛掷试验装置参照文献[11],测试示意图如图 1 所示。试验装置主要由圆形炮筒、圆形钢盖和钢筋混凝土基座等部分构成,炮筒被固定在混凝土基座上,筒轴线与地平面之间的夹角呈 45°。试验时,将试样固定在炮筒中央,使试样药卷轴线与炮

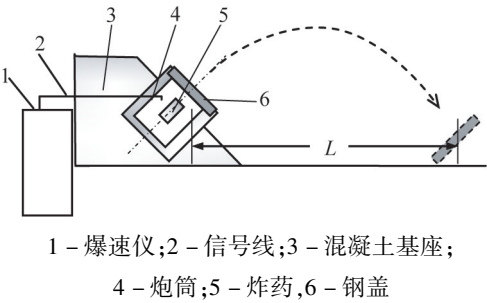


图 1 弹道抛掷测试示意图

Fig. 1 Sketch of the ballistic projectile

筒的轴线重合,药卷的传爆方向与钢盖的抛掷方向相同。炸药爆炸做功抛掷钢盖,钢盖以 45°角斜向上抛出,运动轨迹呈抛物线形,由于钢盖运动速度低(10~20 m/s),空气阻力的影响较小,可忽略^[12]。测出钢盖被抛出的水平距离 L,利用抛掷距离 L 衡量炸药的作功能力,也可换算成能量 E,定量评价炸药作功能力。

由能量守恒定律,钢盖的初始动能可由式(1)表示:

$$E = \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mgL \tag{1}$$

式中:E 为钢盖获得的能量,J;m 为钢盖的质量,通常为 200kg;v₀ 为钢盖初始速度,m/s;g 为重力加速

^{*} 收稿日期:2012-12-25
基金项目:“煤炭科学研究总院爆破技术研究所青年创新基金”资助项目(Q1003)
作者简介:郑思友(1982~),男,工程师,主要从事民爆器材检测及工程爆破技术研究。E-mail:zhengsiyou@126.com

度,9.81m/s²;L 为钢盖被抛出的水平距离,m。

1.2 试样制备

试验所用乳化炸药试样由国内某企业提供。3 种炸药试样的乳化基质相同,炸药试样如表 1 所示。试样制好后均贮存 3d 后开始实验。试验时药卷直径 35mm,质量 200g,普通牛皮纸包装。

表 1 乳化炸药试样简介

Tab. 1 Sample of emulsion explosive		
试样编号	敏化剂	敏化剂质量分数/%
1 [#]	亚硝酸钠	0.15
2 [#]	珍珠岩	4.00
3 [#]	玻璃微球	2.50

1.3 试验方案

经过考察分析,结合乳化炸药的的实际使用,考虑到实际试验安全及工作量,确定试验条件及方案见表 2。

为了尽量减少误差,3 次平行试验的抛掷距离极差超过 1.0m 或爆速极差超过 100m/s,则进行补测,直至把 3 次平行试验的抛掷距离和爆速的极差控制在 1.0m 和 100m/s 之内。

1.4 损伤对炸药爆炸性能影响的表征方法

主要通过试样损伤前后作功能力及爆速的衰减来表征乳化炸药损伤对其爆炸性能的影响,若在一定损伤形式下爆炸性能衰减幅度小,说明损伤对乳化

炸药爆炸性能影响小;反之则说明对乳化炸药的爆炸性能影响大。用作功能力计算乳化炸药受损伤后爆炸性能衰减幅度时,用下式计算:

$$\delta = \frac{L_0 - L}{L_0} \times 100\%$$

(2)

式中:δ 为炸药损伤前后作功能力的衰减幅度;L₀ 为炸药损伤前的作功能力,m;L 为炸药损伤后的作功能力,m。

用爆速计算乳化炸药受损伤后爆炸性能衰减幅度时,用下式计算:

$$\eta = \frac{D_0 - D}{D_0} \times 100\%$$

(3)

式中:η 为炸药损伤前后爆速的衰减幅度;D₀ 为炸药损伤前的爆速,m/s;D 为炸药损伤后的爆速,m/s。

2 实验结果与处理

2.1 实验结果

对 1[#]、2[#]、3[#]试样进行静空气压力、静水压力和机械摩擦损伤模拟试验,试验结果见表 3、表 4 和表 5。表中数据均为 3 次平行试验的平均值。图 2、图 3、图 4 是 δ 和 η 与压力、搅拌时间之间的关系曲线。

2.2 结果分析

根据表 3、表 4、表 5 及图 2、图 3、图 4 分析可得出以下主要结论:

1) 在静空气压力作用下,试验压力范围内,3 种

表 2 试验方案

Tab. 2 Testing program		
序号	损伤方式	试 验 方 法
试验一	静空气压力	把 1 [#] 、2 [#] 、3 [#] 炸药试样分别放入密闭压力容器内加压,压力点选取 0.0MPa、0.2MPa、0.4MPa 和 0.6MPa,试样在每压力点下均静置 36h,然后取出进行弹道抛掷试验,每个压力点下平行测试 3 次,取其平均值
试验二	静水压力	把 1 [#] 、2 [#] 、3 [#] 炸药试样分别放入有水的密闭压力容器内,使炸药试样完全浸入水面以下,加压,压力点选取 0.0MPa、0.2MPa、0.4MPa 和 0.6MPa,试样在每压力点下静置 36h,然后取出进行弹道抛掷试验,每个压力点下平行测试 3 次,取其平均值
试验三	机械摩擦	把 1 [#] 、2 [#] 、3 [#] 炸药试样分别放置在机械搅拌机内搅拌,搅拌机转速为 600r/min,搅拌时间选取 0min、5min、10min 和 15min,搅拌后对其进行弹道抛掷试验,平行测试 3 次,取其平均值

表 3 静空气压力测试结果

Tab. 3 Test results of the static air pressuree												
p/ MPa	1 [#]				2 [#]				3 [#]			
	L/ m	δ/ %	D/ (m·s ⁻¹)	η/ %	L/ m	δ/ %	D/ (m·s ⁻¹)	η/ %	L/ m	δ/ %	D/ (m·s ⁻¹)	η/ %
0.0	20.62	0.00	4983	0.00	18.90	0.00	4089	0.00	19.53	0.00	5210	0.00
0.2	20.50	0.58	4865	2.34	18.93	-0.16	4050	0.95	19.52	0.05	5216	-0.12
0.4	20.48	0.68	4788	3.91	18.79	0.58	3999	2.20	19.39	0.72	5111	1.90
0.6	20.23	1.89	4806	4.72	18.16	3.92	3891	4.84	19.21	1.64	5036	3.15

表 4 静水压力测试结果

Tab. 4 Test results of the hydrostatic pressure

p/MPa	1 [#]				2 [#]				3 [#]			
	L/m	$\delta/\%$	$D/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$\eta/\%$	L/m	$\delta/\%$	$D/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$\eta/\%$	L/m	$\delta/\%$	$D/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$\eta/\%$
0.0	20.62	0.00	4983	0.00	18.90	0.00	4089	0.00	19.53	0.00	5210	0.00
0.2	19.08	5.53	4837	2.93	17.20	8.99	3876	5.21	18.60	4.76	5029	3.47
0.4	18.30	11.25	4632	7.04	15.76	16.61	3690	9.76	16.99	13.01	4852	6.87
0.6	16.28	21.05	4437	11.16	13.69	27.57	3432	14.36	15.00	23.16	4559	12.15

表 5 机械摩擦测试结果

Tab. 5 Test results of the mechanical friction

t/min	1 [#]				2 [#]				3 [#]			
	L/m	$\delta/\%$	$D/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$\eta/\%$	L/m	$\delta/\%$	$D/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$\eta/\%$	L/m	$\delta/\%$	$D/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$\eta/\%$
0	20.62	0.00	4983	0.00	18.90	0.00	4089	0.00	19.53	0.00	5210	0.00
5	20.61	0.05	5006	-0.46	18.87	0.32	4057	0.78	19.45	0.41	5186	0.46
10	20.53	0.44	4940	0.86	18.80	0.53	3938	3.69	19.22	1.59	5050	3.07
15	20.39	1.12	4890	1.87	18.96	4.97	3780	7.56	18.80	3.74	4850	6.91

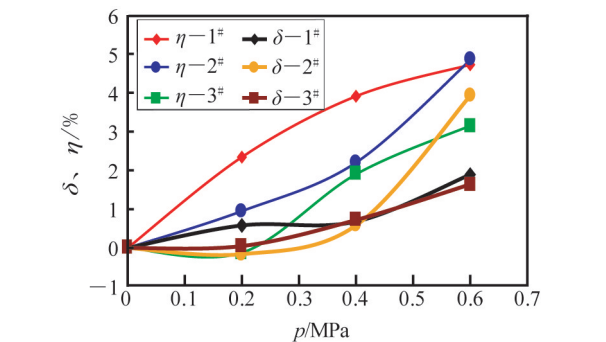


图 2 3 种炸药在静空气压作用下 δ, η 与压力的关系曲线

Fig. 2 δ, η and pressure curve of three types emulsion explosives under static air pressure

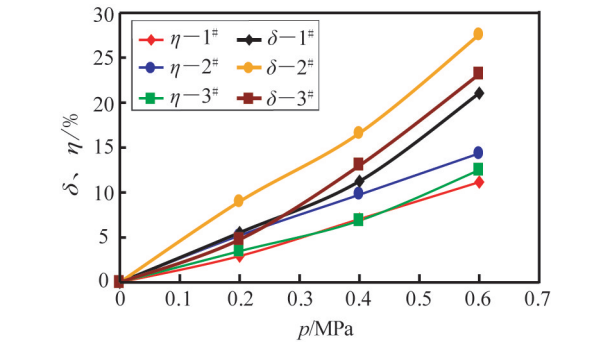


图 3 3 种炸药在静水压作用下的 δ, η 与压力的关系曲线

Fig. 3 δ, η and pressure curve of three types emulsion explosives under hydrostatic pressure

试样的作功能力和爆速均随着施加的压力增大而降低,作功能力下降小于爆速。物理敏化的 2[#]、3[#]试样和化学敏化的 1[#]试样下降趋势有所区别,2[#]、3[#]试样

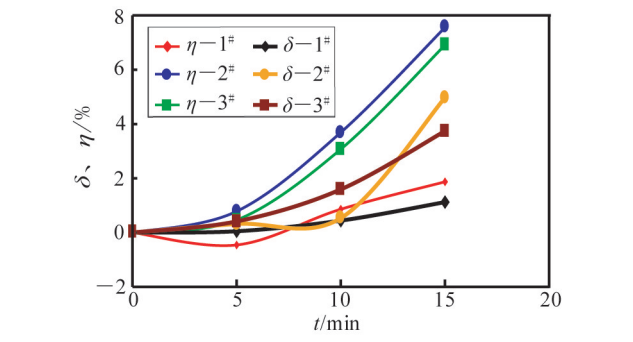


图 4 3 种炸药在机械摩擦作用下的 δ, η 与搅拌时间的关系曲线

Fig. 4 δ, η and stirring time of three types emulsion explosives under mechanical friction

下降趋势是先缓后急,1[#]试样与之相反,是先急后缓。总体而言,静空气压力损伤对 3 种试样爆炸性能的影响从小到大的大致顺序是 3[#] < 1[#] < 2[#]。

静空气压力对乳化炸药的损伤主要是压力导致乳化炸药密度增加,炸药内部的“热点”相对减少。在低压下,由于玻璃微球和珍珠岩具有一定的抗压性,因此物理敏化的 2[#]、3[#]试样抗压能力好于化学敏化的 1[#]试样;随着压力增大,玻璃微球和珍珠岩会相继达到耐压极限开始破碎,而敏化气泡达到收缩极限后,密度增加放缓,当压力释放后,由于化学敏化的试样具有很强的复原性,因此物理敏化的试样爆炸性能衰减加剧,化学敏化的衰减放缓。在本文试验条件下,乳化炸药体系相对稳定的状态受到的破坏轻微,作功能力和爆速衰减较小。例如,在 0.6

MPa 压力作用 36h 后,3 种试样的作功能力和爆速最大仅分别下降 3.92%、4.84%。基本上对试样的爆炸性能没有造成本质上的损害。

2) 静水压力作用下,在试验压力范围内,3 种试样的作功能力和爆速均随着施加的压力增大而降低,作功能力的下降大于爆速。3 种试样爆炸性能衰减幅度的大致顺序是 $1^\# < 3^\# < 2^\#$ 。

静水压力对乳化炸药的破坏主要有两方面:一方面是压力作用破坏了乳化炸药的敏化结构,使炸药内部的“热点”减少;另一方面是水在压力作用下逐渐地向炸药内部渗透,导致油、水两相间的界面膜破裂,造成油、水两相分离而破乳,氧化剂析晶流失等破坏,其中第二种破坏应该占主要作用。这种破坏与施加的压力和时间是成正比的,压力越大或时间越长破坏越严重。在本文试验条件下,药卷外围的试样已经完全破乳,导致质量损失,而内部未受水浸蚀试样的直径仍然能够维持试样爆轰正常传播,因此试样爆速的衰减幅度小于作功能力衰减幅度。微气泡与乳化基质间的界面膜的强度大于珍珠岩和玻璃微球与乳化基质间的界面膜强度,并且压力释放后化学敏化的乳化炸药具有较强的复原性,故化学敏化的乳化炸药抗静水压力损伤要好于物理敏化的。在相同压力下静水压力作用对乳化炸药的损伤要远远大于静空气压力对乳化炸药的损伤。例如,在 0.6MPa 静水压力作用下,爆炸性能衰减幅度最小的 $1^\#$ 试样的作功能力和爆速也分别下降了 21.05% 和 11.16%。由此可见,静水压力作用对乳化炸药已经造成了本质上的损伤。

3) 3 种试样的作功能力与爆速均随着机械摩擦时间延长而下降;相同摩擦时间下 3 种试样的 δ 和 η 的大致顺序均是 $1^\# < 3^\# < 2^\#$,说明化学敏化的 $1^\#$ 试样抗机械摩擦损伤明显优于物理敏化的 $2^\#$ 、 $3^\#$ 试样。机械摩擦作用下作功能力衰减幅度要小于爆速的衰减幅度。

机械摩擦对乳化炸药的损伤主要是破坏了乳化炸药混合体系的相对稳定状态,乳化炸药是一种相对稳定的油包水型多组分混合体系,具有复杂的内部结构。机械搅拌一方面对油包水结构的界面膜造成了破坏,降低整个体系的相对稳定;另一方面导致混合体系中敏化气泡的部分丧失,玻璃微球或珍珠岩破碎等使乳化炸药内部“热点”减少。搅拌时间越长破坏越严重。在本文试验条件下,机械摩擦作用并未对试样相对稳定状态造成较大破坏,主要是导致试样的“热点”减少,对炸药的有效质量基本上未造成破坏,因此作功能力衰减小于爆速的衰减,机

械摩擦对 3 种乳化炸药爆炸性能的影响相对较小。例如,在试验条件下,爆炸性能衰减幅度最大的珍珠岩敏化的 $2^\#$ 试样的作功能力和爆速仅分别下降 4.97%、7.56%。

3 结 论

1) 在试验压力范围内,静空气压力作用并未对乳化炸药造成本质上的损伤,对乳化炸药的爆炸性能影响较小;化学敏化、珍珠岩敏化、玻璃微球敏化的 3 种乳化炸药试样的爆炸性能损失均随压力增大而增大,压力达到 0.6MPa 时,作功能力分别下降了 1.89%、3.92%、1.64%,爆速分别下降 4.72%、4.84%、3.15%。

2) 静水压力作用对乳化炸药已造成本质上的损伤,损伤主要是水的渗透作用造成的,这种损伤已导致炸药质量损失,因此爆炸性能损失较大;化学敏化、珍珠岩敏化、玻璃微球敏化的 3 种乳化炸药试样的爆炸性能损失均随压力增大而增大,当压力达到 0.6MPa 时,作功能力分别下降了 21.05%、27.57%、23.16%,爆速分别下降 11.16%、14.36%、12.15%。

3) 机械摩擦作用在试验条件下并未对乳化炸药造成本质上的损伤,对乳化炸药爆炸性能影响较小,但 3 种乳化炸药试样的爆炸性能损失趋势是随作用时间增长而增大。化学敏化、珍珠岩敏化、玻璃微球敏化的 3 种乳化炸药试样在机械摩擦作用 15min 后,作功能力分别下降了 1.12%、4.97%、3.74%,爆速分别下降 1.87%、7.56%、6.91%。

受基础条件及经费限制,本文仅单纯从作功能力和爆速的衰减来研究乳化炸药在静空气压力、静水压力和机械摩擦作用下的损伤对爆炸性能的影响,没有结合生产条件、工艺以及试样损伤前后微观结构上的变化进行系统深入的研究。因此本文所得结论可能存在一定偏差,不一定能代表乳化炸药受损后的普遍规律。但实验结果对指导乳化炸药的应用具有一定的实际意义。

参 考 文 献

- [1] 杨民钢. 静压力对乳化炸药性能影响的试验研究[J]. 爆破器材,1994,23(2):1-5.
Yang Min'gang. An investigation of the influence of static pressure on the performance of emulsion explosives[J]. Explosive Materials,1994,23(2):1-5.
- [2] 刘磊,汪旭光,杨溢,等. 乳化炸药抗静压性能的实验方法研究[J]. 爆破,2010,27(1):23-25,43.
Liu Lei, Wang Xuguang, Yang Yi, et al. Experimental research on compression resistance of emulsion explosives[J]. Blasting,2010,27(1):23-25,43.

- [3] Wang Yinjun, Wang Xuguang, Yan Shilong. Influence of an emulsifier on the pressure desensitization of emulsion explosive[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2006, 13(2): 102-107.
- [4] 颜事龙, 张少波, 刘义. 煤矿许用乳化炸药动态压力下减敏的研究[J]. 安徽理工大学学报: 自然科学版, 2003, 23(3): 27-31.
Yan Shilong, Zhang Shaobo, Liu Yi. Study on the desensitization of the coalmine permitted emulsion explosives under dynamic pressure[J]. Journal of Anhui University of Science and Technology: Natural Science, 2003, 23(3): 27-31.
- [5] 陈东梁, 颜事龙, 刘义, 等. 动压作用下乳化炸药微结构变化的实验[J]. 煤炭学报, 2006, 31(3): 287-291.
Chen Dongliang, Yan Shilong, Liu Yi, et al. Experimental on the microstructure changing of emulsion explosives under dynamic pressure[J]. Journal of China Coal Society, 2006, 31(3): 287-291.
- [6] 刘峰, 颜事龙, 吴红波. 冲击作用下乳化炸药基质微观结构的变化[J]. 火工品, 2008(1): 25-28.
Liu Feng, Yan Shilong, Wu Hongbo. Microstructure change of emulsion matrix under shock pressure[J]. Initiators & Pyrotechnics, 2008(1): 25-28.
- [7] 王尹军, 汪旭光, 李进军. 冲击波作用后乳化炸药贮存性能及影响因素实验研究[J]. 含能材料, 2009, 17(2): 214-217, 232.
Wang Yinjun, Wang Xuguang, Li Jinjun. Experimental study on the storage properties and its influence factors of the emulsion explosive after pressed by shockwave[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2009, 17(2): 214-217, 232.
- [8] 刘磊, 汪旭光, 杨溢, 等. 水下爆破中乳化炸药抗水性能的实验研究[J]. 工程爆破, 2010, 16(1): 66-69.
Liu Lei, Wang Xuguang, Yang Yi, et al. Experimental study on water resistance of emulsion explosives in underwater blasting[J]. Engineering Blasting, 2010, 16(1): 66-69.
- [9] 刘磊, 汪旭光, 杨溢, 等. 不同敏化材料的乳化炸药抗深水压力性能的实验研究[J]. 爆破, 2010, 27(2): 10-13.
Liu Lei, Wang Xuguang, Yang Yi, et al. Experimental study on compression resistance characteristic of emulsion explosives with different sensitizer in deep water[J]. Blasting, 2010, 27(2): 10-13.
- [10] 郑思友, 夏斌, 刘遵义. 利用弹道抛体法评价含铝工业炸药作功能力[J]. 煤矿爆破, 2007(2): 9-12.
Zheng Siyou, Xia Bin, Liu Zunyi. Estimating the power of industrial aluminiferous explosive by way of ballistic projectile method[J]. Coal Mine Blasting, 2007(2): 9-12.
- [11] 郑思友, 夏斌, 陆丽园. 弹道抛掷法测试无雷管感度工业炸药作功能力研究[J]. 含能材料, 2012, 20(2): 214-217.
Zheng Siyou, Xia Bin, Lu Liyuan. Power test of non-cap-sensitivity industrial explosive by ballistic projectile method[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2012, 20(2): 214-217.
- [12] 王肇中, 汪旭光, 夏斌. 工业炸药作功能力的测试方法研究[J]. 火炸药学报, 2007, 30(6): 24-26, 30.
Wang Zhaozhong, Wang Xuguang, Xia Bin. Study on power test method of industrial explosives[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2007, 30(6): 24-26, 30.

Influence of the Damage of Emulsion Explosive on Detonation Property

ZHENG Siyou^①, XIA Bin^①, HE Zhen^①, LIU Lei^②

^①Institute of Blasting Technology, Central Coal Mining Research Institute (Anhui HuaiBei, 235000)

^②Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology (Yunnan Kunming, 650093)

[ABSTRACT] The experimental research by means of static air pressure, hydrostatic pressure and mechanical friction was conducted on the damage simulation of three types of emulsion explosives sensitized by chemical, perlite and glass microballon sensitization, respectively. Under the static air pressure of 0.6MPa, the power of three types emulsion explosives reduced by 1.89%, 3.92% and 1.64%, respectively, and the detonation velocity reduced by 4.72%, 4.84% and 3.15%, respectively. Under the hydrostatic pressure of 0.6MPa, the power of three types emulsion explosives reduced by 21.05%, 27.57% and 23.16%, respectively, and the detonation velocity reduced by 11.16%, 14.36% and 12.15%, respectively. After mechanical friction of 15min, the power of three types emulsion explosives reduced by 1.12%, 4.97% and 3.74%, respectively, and the detonation velocity reduced by 1.87%, 7.56% and 6.91%, respectively. Results showed that, under static pressure and mechanical friction, the loss of detonation property of three types emulsion explosive was small, and the loss of power was less than that of detonation velocity; and under hydrostatic pressure, the loss of detonation property of three types emulsion explosive was large, and the loss of power was more than that of detonation velocity.

[KEY WORDS] emulsion explosive, damage, static air pressure, hydrostatic pressure, mechanical friction, detonation property