

文章编号: 1006-9941(2006)04-0302-04

动压下组分结构变化与乳化炸药减敏关系研究

陈东梁¹, 孙金华¹, 颜事龙², 刘 义¹, 陈 静³

(1. 中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室, 安徽 合肥 230026;

2. 安徽理工大学, 安徽 淮南 232001; 3. 中国农业大学理学院, 北京 100083)

摘要: 乳化炸药由乳化基质和敏化载体构成, 采用水下爆炸测试方法对乳化基质在动压作用下的结构变化进行了实验研究, 并对受压前后的乳化基质进行了显微观测。结果表明, 敏化载体破坏和乳化基质微观结构发生变化是造成乳化炸药减敏的原因, 其中敏化载体破坏是造成减敏的主要原因。对三种不同方式敏化的乳化炸药的抗压性能进行了测试, 结果表明, 玻璃微球敏化的乳化炸药最好, 化学发泡敏化的次之, 膨胀珍珠岩敏化的最差, 三者的临界减敏压力分别为 134.66 MPa, 99.83 MPa 和 27.13 MPa。

关键词: 应用化学; 乳化炸药; 乳化基质; 减敏; 动态压力

中图分类号: TD235.213; O384; TJ55

文献标识码: A

1 引 言

乳化炸药是 20 世纪 60 年代末发展起来的新型含水炸药, 具有抗水性强和爆轰性能优良等诸多优点, 因此在工程爆破中得到了广泛的应用。但在微差爆破技术的工程应用中, 一些复杂的爆破环境也会带来一些新的问题, 比如, 在水下爆破、爆炸夯实和淋水工作面进行爆破作业时, 先爆炸孔产生的应力波对毗邻炮孔中的装药产生预压作用, 使毗邻炮孔中的炸药发生减敏现象, 对爆破安全构成了巨大的威胁^[1]。

造成乳化炸药压力减敏的因素很多, 比如: 地质条件、爆破参数、乳化炸药的组成以及结构等。解立峰^[1]研究了井下煤层的毫秒爆破中炮孔间距和延期时差与炸药减敏的关系, 以及静水压力作用下爆炸和复原情况, 研究结果表明, 炮眼间距的大小是影响炸药压力减敏的主要因素。文献[2]介绍了煤矿或硬岩中炮孔截面的压力分布图, 由炸药的耐压性确定压死距离, 如果炮孔间距小于临界压死距离, 炸药可能产生拒爆。聂树林^[3]设计了动态压力下测试乳化炸药爆轰性能的方法, 对乳化炸药的减敏现象进行了研究, 并对气泡敏化的乳化炸药进行了数值模拟; 他认为乳化炸药组分中耐压最弱的一个组分的强度决定着炸药的耐压性, 经过压力减敏作用的乳化炸药的减敏程度低于正常的炸药。目前国内虽对此进行了大量研

究^[4-7], 但压力减敏的机理尚未认识清楚。本文对乳化基质在动压作用下的结构变化及其对乳化炸药性能的影响进行了研究, 对动压作用下乳化炸药组分间的相互作用进行了分析。

2 实验装置及过程

2.1 乳化炸药临界减敏压力测定

乳化炸药由乳化基质和敏化载体构成, 实验用乳化炸药的乳化基质参数如表 1 所示。在乳化基质中分别添加玻璃微球 2%, H 发泡剂 0.2% 和膨胀珍珠岩 4% 三种敏化载体, 即得三种乳化炸药。

表 1 乳化基质的组分

Table 1 Components of emulsion base

components	NH ₄ NO ₃	NaNO ₃	CO(NH ₂) ₂	H ₂ O	complex oil	span-80
percentage/%	70	11	1	10	4	2

乳化炸药压力减敏实验是在一个装满水的高压聚乙烯塑料袋中进行的(见图 1)。将 5 g RDX 药包和乳化炸药药包(乳化炸药装在聚乙烯袋中制得, 药量为 20 g)放入塑料袋中, 注满水后引爆 RDX 药包, 产生的水中冲击波对乳化炸药产生强烈的动压作用, 将受压后的乳化炸药捆绑于一 100 mm × 80 mm × 2 mm 铝板上, 引爆它, 通过铝板的变形情况判断乳化炸药爆轰性能的变化。通过调整 RDX 药包和乳化炸药药包之间的距离, 可以改变乳化炸药受到的动压, 当峰值压力大于某一临界值时, 乳化炸药开始出现减敏现象, 在此定义这个压力为乳化炸药的临界减敏压力。

收稿日期: 2005-10-12; 修回日期: 2006-02-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 50574004)

作者简介: 陈东梁(1979-), 男, 博士研究生, 从事爆炸技术与安全方面的研究。e-mail: chendl@mail.ustc.edu.cn

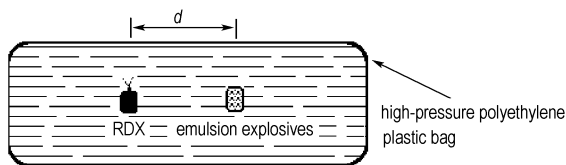


图1 压力减敏实验装置示意图

Fig. 1 Experimental set-up of the emulsion explosive desensitization

2.2 乳化基质的动压实验

乳化基质的动压实验和 2.1 中的方法一样,将受压后的乳化基质(20 g)取出,向其中加入 0.4 g 的玻璃微球使其敏化,然后将其捆绑在铝板上,引爆它,通过铝板的变形情况判断乳化基质性能的变化。

2.3 乳化基质微观结构观测

实验用的是 Nikon-E-400 荧光显微摄影仪,用环己烷作水剂;取乳化基质样品 0.2 g 放入烧杯中,加入 15 mL 环己烷,搅拌均匀,制成乳化炸药的环己烷乳状液。

将标准的载物片和盖玻片用自来水冲洗干净,然后用 3% ~ 5% 的稀盐酸酒精溶液,浸泡去污大约 1 h,随后取出放入另一 100 mL 烧杯中,并加满无水酒精浸泡,使载物片和盖玻片彻底脱脂后取出,烘干后使其温度降至常温。用毛细滴管吸取上述的乳状液一滴至载物片上,盖上盖玻片,制成用于观测的试样。将试样放

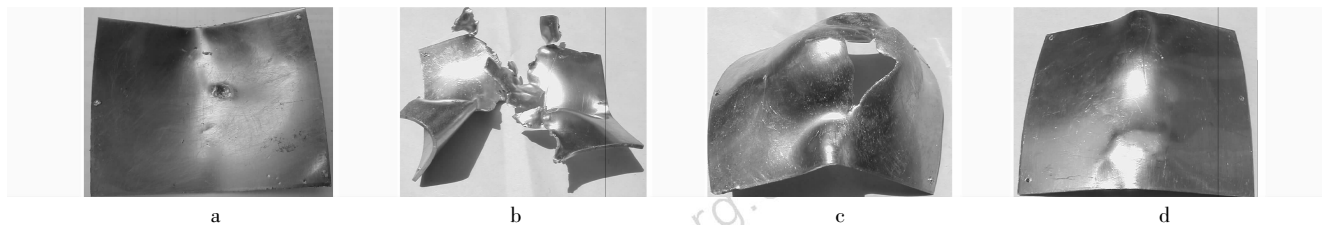


图2 不同情况下铝板的变形

Fig. 2 Distortions of aluminum plates under different conditions

3.2 动压作用下乳化基质的结构变化

图 3 为实测 5 g RDX 药包水中爆炸冲击波压力与距离的变化曲线(曲线 a)及无限水介质中炸药爆炸时冲击波压力计算方法得出的结果(曲线 b)^[8]。可以看出,实测值要比理论值大一些,这可能是实验时的小水域条件和水域的外在束缚所造成的。

将测得的冲击波压力和炸药药量、测试点距药包距离进行回归分析,得到实验条件下水中冲击波压力的函数关系为: $p = 72.237 \left(\frac{Q}{R} \right)^{1.2409}$ 。

式中, p 为冲击波峰值压力, MPa; Q 为水中 RDX 药包的药量, kg; R 为距离药包的距离, m。

于显微镜的载物台上,调整显微镜直至清晰视野,而后进行拍照。

2.4 水中冲击波压力的测试

实验测量了图 1 中 5 g RDX 药包水中爆炸压力场的分布,测量系统由 5 g RDX 药包、高压聚乙烯袋、HZP2 型自由场压电压力传感器、电压放大器和示波器构成。

3 实验结果及分析

3.1 铝板变形和乳化炸药减敏关系分析

图 2 为不同情况下铝板的变化情况,可以看出铝板变形比较明显地显示出各种情况下乳化炸药爆炸性能的变化。

图 2(a) 为空白试验,将一发雷管捆绑于铝板上,引爆,铝板上明显有一凹坑,它是由雷管的爆炸作用形成的;图 2(b) 为铝板被炸断的情况,它表明乳化炸药没有发生减敏;图 2(c) 是铝板被炸了一个洞但未被炸断,表明乳化炸药发生了一定程度的减敏;图 2(d) 为乳化炸药发生减敏时铝板的变形,可以看出,其中心部分陷了下去,但没有炸穿,这仅仅是一发雷管作用的结果,和空白试验中铝板的变化几乎是相同的。铝板变形的差异反映了乳化炸药减敏程度的不同,表明了乳化炸药的爆轰程度由大变小,直至产生拒爆。

图 4 为乳化基质结构体系变化和外界动压的关系。在动态压力作用下,乳化基质最外面的一层会变成白色(乳化基质本来的颜色为淡黄色),且变白部分仅发生在药包外层的一定厚度,变白层的厚度有随所受压力增大而增大的趋势,这说明乳化基质的内部结构发生了变化,呈现白色的部分主要是水相中高浓度氧化剂水溶液结晶析出;乳化炸药的两相间产生相对运动,水相平均曲率变小,在界面膜的某些部分两水相之间的油膜被挤出,水相液滴发生聚结变大,致使体系的均一性变差,水相液滴的聚结变大的结果就使得颗粒的表面能和其内部的能量之比减小,水相内过饱和硝酸盐易于结晶析出。

变白部分仅发生在外层而内层几乎不变的原因是水中冲击波传播和流体绕流的结果。当水中的冲击波传播到药包的边界时,由于绕流和乳化基质为粘弹性体,在药包的边界会产生一个压力峰值,而且这个峰值沿药包径向传播呈指数衰减,随着沿药包径向的传播,压力峰值急剧下降。所以药包受到的压力为边界处的最大而药包中心处的最小。

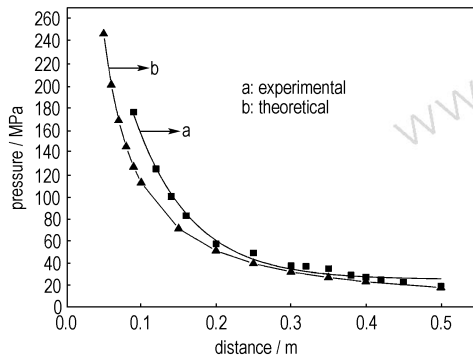


图3 水中冲击波压力和距离的关系

Fig. 3 Pressure profile of shock wave propagating in water

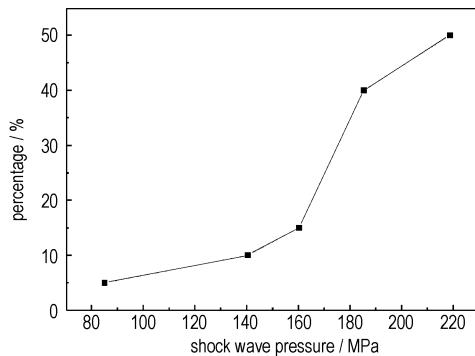


图4 乳化基质结构变化比例和冲击波压力关系

Fig. 4 Profile of the emulsion base change under shock wave pressure

图5、图6是受压前后乳化基质的显微照相图片,可以看出,未受压时水相粒子颗粒基本呈圆形,均匀分布在油相中间,粒子具有较好的透光性。受压后水相粒子发生了不同程度的聚积,粒子的透光性较差,体系的结构发生了较大的变化。

3.3 乳化炸药减敏成因分析

动压作用下乳化基质和敏化载体都会有不同程度的破坏,乳化基质的破坏主要表现在微观结构的变化,体系的不均一性增大(见图6);敏化载体的破坏主要表现在气泡的变小和载体的破裂。这两个因素相互影响、相互作用,敏化载体的破坏有促使微结构变坏的作用,而微结构的变坏使体系中的敏化载体更加易于被破坏。

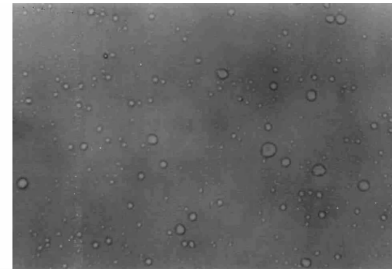


图5 未受压的乳化基质(放大400倍)

Fig. 5 Micrograph of emulsion base (400 times amplified)

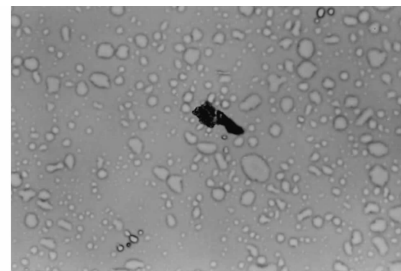


图6 受压后的乳化基质

Fig. 6 Micrograph of emulsion base (400 times amplified)

pressed by shock wave

在冲击波压力峰值为172 MPa的实验中,在同样的压力作用下玻璃微球敏化的乳化炸药发生了减敏现象,而受压后的乳化基质被玻璃微球敏化后仍然能够正常爆轰。这说明,虽然乳化基质受压后微观结构也发生了变化,但由于玻璃微球的敏化作用,在雷管起爆后,体系中仍具有足够多的热点,氧化剂和可燃剂之间的化学反应仍能被引发。对于玻璃微球敏化的乳化炸药来说,在动压的作用下,不但微观结构发生了变化,而且其中的玻璃微球也遭到了破坏,在被引爆时不再能够形成足够而有效的热点,所以炸药的爆轰性能降低。从以上的分析可以看出,乳化炸药的减敏在很大程度上是由于敏化载体的破坏造成的。

在冲击波压力峰值为235 MPa的实验中,受压后的乳化基质被玻璃微球敏化后,被引爆时产生了减敏现象,由于加入的玻璃微球的物理性质是正常的,所以在被引爆时,炸药中的热点是足够的,但由于基质内部微观结构的变化,其中的W/O结构已经遭到破坏,尤其是水相中的硝酸盐的结晶析出,致使其中的水相和油相间的界面遭到破坏,两相间的紧密结合程度大大下降,致使达到爆轰所需的能量增加,以致一发工业电雷管的起爆能量难以引发乳化炸药中氧化剂和可燃剂之间的化学反应。这说明乳化基质微观结构的变化也是造成乳化炸药减敏的原因之一。

3.4 三种乳化炸药不同敏化方式的分析比较

图7为三种乳化炸药减敏概率(受冲击波压力作用后被引爆时发生减敏的次数和实验总次数的比值)与冲击波压力关系,发现三种乳化炸药的抗压性不同,玻璃微球敏化的最好,化学发泡敏化的次之,膨胀珍珠岩敏化的最差;其中玻璃微球敏化的乳化炸药的临界减敏压力为134.66 MPa,化学发泡敏化的为99.83 MPa,膨胀珍珠岩敏化的为27.13 MPa。

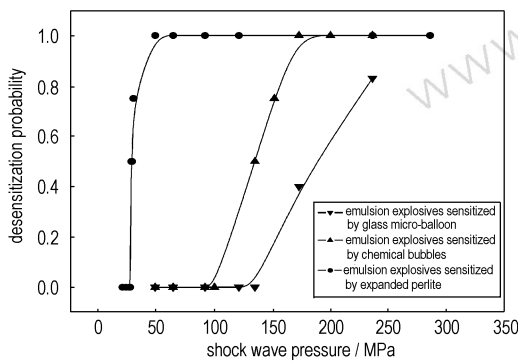


图7 乳化炸药减敏概率与冲击波压力关系

Fig.7 The relationship between the desensitization probability of emulsion explosives and shock wave pressure

对于玻璃微球敏化的乳化炸药,由于玻璃微球具有一定的强度,在一定的压力范围内玻璃微球不会被压碎,所以玻璃微球敏化的乳化炸药表现出较好的抗压性能。但当压力大于一定值后,玻璃微球被破坏的程度随压力的递增而增大,其中的部分玻璃微球会被冲击波的压力压碎,使炸药中能形成热点的结构变少,且炸药中两相间微结构会发生变化,乳化炸药的爆炸性能降低。

对于化学发泡敏化的乳化炸药,在动压作用下,化学发泡敏化的乳化炸药中气泡会被压缩变小,且由于药体在冲击波压力的作用下向气泡内形成射流,把气泡分割成一些更小的气泡,这种原因导致敏化气泡缩小,对形成热点不利,乳化炸药的爆炸性能降低。减敏速率较慢的原因是由于体系中的大量微气泡的存在,使整个乳化炸药体系具有弹性和柔性,且气泡没有锐利的棱角,在冲击波的作用下,气泡会被压缩变小,吸收部分冲击波能量,使乳化炸药两相结构发生的变化没有膨胀珍珠岩敏化的乳化炸药严重,且气泡在冲击波作用过后具有一定的恢复能力。

对于膨胀珍珠岩敏化的乳化炸药,由于膨胀珍珠岩具有不规则的外形和较多的棱角,在动压作用下,乳化炸药的两相界面膜很容易被破坏,水相粒子发生聚

结变大、析晶使得体系的不均一性增大,导致爆炸性能变差。其次,膨胀珍珠岩的强度较低且空隙是开放型的,在较低的压力作用下,便能被压碎,一个颗粒被压碎成几个小颗粒,而小颗粒是不利于形成热点的,所以在冲击波的作用下形成的热点不是足够多,引发两相间的化学反应的效率较低,表现为膨胀珍珠岩敏化的乳化炸药在较低压力的作用下就会发生减敏,当压力增大到一定值后,随着压力的增大乳化炸药的减敏程度迅速增大直至失去爆炸性能;所以膨胀珍珠岩敏化的乳化炸药抗压性能在三种乳化炸药中是最差的。

4 结论

动压作用下乳化基质的结构会发生变化,且这种变化在药包中的分布不同,变化集中在药包外层的一定厚度内,这与冲击波在药包中的传播规律相对应,乳化基质结构的变化程度有随外部压力增大而增大的趋势。乳化炸药的减敏是敏化载体破坏和微观结构发生变化两方面原因共同造成的,在动压作用下,敏化载体的破坏是造成对乳化炸药减敏的主要原因。不同方式敏化的乳化炸药抗压性能不同,玻璃微球敏化的乳化炸药最好,化学发泡敏化的次之,膨胀珍珠岩敏化的最差;其中玻璃微球敏化的乳化炸药的临界减敏压力为134.66 MPa,化学发泡敏化的为99.83 MPa,膨胀珍珠岩敏化的为27.13 MPa。

参考文献:

- [1] 解立峰. 乳化炸药受压钝化问题的探讨[J]. 爆破器材, 1991, 20(2): 6-9.
- [2] 贯荔. 乳化炸药的压力减敏作用[J]. 爆破器材, 1994, (2): 35-37.
- [3] 聂树林. 化学气泡敏化的乳化炸药压死过程的实验和模拟研究[J]. 国外金属矿山, 1999, (2): 49-56.
- [4] Richard J Maimero, Michael S Wieland. The relationship between hole spacing and misfires of permissible explosives[A]. Proceedings of The Second Mini-Symposium on Explosives and Blasting Research[C], 1986.
- [5] Murata K, Takahashi K, Kato Y. Precise measurements of underwater explosion phenomena by pressure sensor using fluoropolymer[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1999, 85: 39-42.
- [6] 梁文平. 乳状液科学与技术基础[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

(下转 314 页)

参考文献:

- [1] 三叉戟 I (C4) 导弹和三叉戟潜艇的进展情况[J]. 导弹与宇航, 1979.
- [2] Response of Scout destruct charges to high heat fluxes. AD720455, 1969.
- [3] 李福平, 刘忠良, 胡国丰, 等. 火炸药手册(增订本)[M]. 五机部二〇四研究所, 1981.
- [4] 艾鲁群. 国外火工品手册[M]. 国家机械工业委员会兵器标准化研究所出版, 1988.

Influence of High Heat Fluxes on the Safety of Self-destruction System

YIN Ya-xia¹, LI Jian¹, WU Shuang-zhang²

(1. The Fourth Academy of CASC, Xi'an 710025, China;

2. School of Chemical Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: The safety of pyrotechnics of self-destruction system in hot-splitting process was studied. The results show that heat fluxes can affect the detonator with initiators and the circle-shaped destructor and the line-shaped destructor with explosives in different ways, the detonator with initiators can explode, but circle-shaped and line-shaped destructors with explosives can not explode in hot-splitting process.

Key words: applied chemistry; heat fluxes; pyrotechnics; safety

(上接 305 页)

- [7] YAN Shi-long, WANG Yin-jun, LIU Yi. Research on the relationship between water-based explosive desensitization and delay time under dynamic[A]. The Seventh International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting[C], 2002. 88 - 92.
- [8] 北京工业学院八系. 爆炸及其作用编写组. 爆炸及其作用(下册)[M]. 北京: 国防工业出版社, 1979.

Relationship Between Structure Changes and Desensitization of Emulsion Explosives Under Dynamic Pressure

CHEN Dong-liang¹, SUN Jin-hua¹, YAN Shi-long², LIU Yi¹, CHEN Jing³

(1. State Key Laboratory of Fire Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China;

2. Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China;

3. College of Science, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: The emulsion base pressed by dynamic pressure was studied, and the micro-photography was used to explore the microstructure changes of emulsion base. The results show that the destruction of the sensitizing carriers and the microstructure changes of the emulsion explosives are the reasons of the desensitization, and the destruction of the sensitizing carriers is the main reason. The explosion behaviors of three kinds of emulsion explosives pressed by dynamic pressure were studied. The results show that the anti-pressing property of emulsion explosive sensitized by glass micro-balloon is the best, sensitized by chemical bubbles is the better and sensitized by expanded perlite is the worst. The critical desensitization pressures of the three kinds of emulsion explosives are 134.66 MPa, 99.83 MPa and 27.13 MPa, respectively.

Key words: applied chemistry; emulsion explosive; emulsion base; desensitization; dynamic pressure