

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2015.05.007

乳化炸药动压减敏装置的优化设计和试验研究*

程扬帆^① 颜事龙^① 汪 泉^① 郭子如^① 沈兆武^②

①安徽理工大学化学工程学院(安徽淮南,232001)

②中国科学技术大学工程科学学院(安徽合肥,230027)

[摘 要] 针对传统动压减敏装置在乳化炸药动压减敏研究中存在的不足,对传统动压减敏装置进行了优化设计。本文详细介绍了改进后动压减敏装置的结构、功能以及试验方法,并利用该装置研究了玻璃微球型和 NaNO_2 型乳化炸药的抗动压减敏性能,从而对其功能进行了验证。结果表明改进后的乳化炸药动压减敏装置能够很好地满足延迟爆破模拟试验的要求,可为后续乳化炸药动压减敏的深入研究提供参考。

[关键词] 压力减敏;敏化剂;乳化炸药;延迟爆破;水下爆炸

[分类号] TD235.2+1;O389

引言

工程爆破中延期起爆技术是常用的手段,具有爆破质量好、地震效应小、爆破规模大等优点。但延期爆破会造成先起爆乳化炸药产生的冲击波对尚未起爆炸药的动态荷载问题,使其敏化效果遭到破坏,从而导致后爆乳化炸药的爆炸性能下降^[1]。这种现象发生在煤矿井下时,会造成盲炮、药卷爆燃以及瓦斯、煤尘爆炸等事故^[2]。乳化炸药的这种动压减敏现象,已受到国内外炸药领域专家学者的广泛关注^[3-9]。Khasainov 等^[3-4]研究了玻璃微球的粒径对乳化炸药冲击波感度的影响。美国学者 Wietand^[5]通过设计一个能炸毁的喷管装置,研究了许用炸药对于动压钝化的相对感度。Nie^[6]分别研究了玻璃微球敏化乳化炸药和化学敏化乳化炸药的抗动压减敏特性,并进行了比较。国内颜事龙等^[2]研究了动态压力对乳化炸药分散相粒径变化和减敏效应的影响。王尹军等^[7]研究了乳化炸药密度对其压力减敏的影响。吴红波等^[8]研究了动压作用下乳化剂含量对乳化炸药破乳程度的影响。

如何在试验室条件下合理设计延期爆破的模拟试验,对研究乳化炸药的动压力减敏研究至关重要。前人开创性的工作为乳化炸药动压减敏的研究提供了大量的理论和试验指导,但是随着研究的深入,传统乳化炸药动压减敏装置已不能很好地满足现有试验的要求。

本文对乳化炸药的动压减敏装置进行了优化设

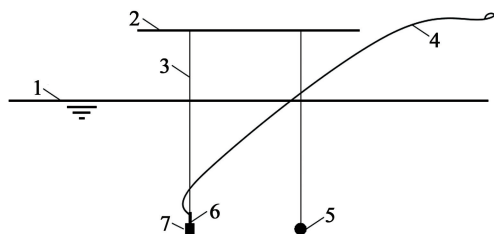
计,并且利用水下爆炸试验对其功能进行了验证。

1 传统模拟试验装置

1.1 试验方法与原理

通过调研国内外有关乳化炸药动压减敏的文献发现,乳化炸药动压减敏试验主要使用水下爆炸法^[7-9],该方法将引爆的主发药作为动压发生器,水作为传压介质。

传统动压减敏装置如图 1 所示,通过引爆主发药压装 RDX 在水中形成冲击波,对单个乳化炸药样品进行动压加载,从而模拟延迟爆破中乳化炸药的动压减敏现象;然后,利用水下爆炸试验测试受压乳化炸药的爆轰性能,并与未受压乳化炸药的爆轰性能进行比较,得到动压加载对乳化炸药爆轰性能的影响程度。



1 - 水平面;2 - 支架;3 - 钢丝;
4 - 导爆管;5 - 乳化炸药;6 - 雷管;7 - 压装 RDX

图 1 传统的冲击波动压减敏试验原理图

Fig.1 Schematic diagram of traditional dynamic pressure desensitization experiment

* 收稿日期:2015-04-09

基金项目:国家自然科学基金项目(1150211,51374189);安徽省高校自然科学研究重点项目(KJ2015A074)

作者简介:程扬帆(1987~),男,博士,讲师,主要从事含能材料的试验和数值模拟研究。E-mail:cyf518@mail.ustc.edu.cn

1.2 不足之处

传统动压减敏装置使乳化炸药动压减敏的研究在试验室小药量情况下得以实现,并且操作简单,为前期动压减敏的研究作出了重要贡献。但是随着研究的深入,传统动压减敏装置也开始表现出了一些不足。

该装置在实际操作中,无法保证主发药和乳化炸药样品处于同一水平线上(正向受压),并且一个主发药每次试验只能得到一个受压乳化炸药的样品,不仅增加了试验成本,而且不能保证受压乳化炸药在横向比较(相同受压距离的不同配方乳化炸药)和纵向比较(不同受压距离的相同配方乳化炸药)时试验条件的均一性,从而导致试验的误差较大。因此,有必要对该装置进行一些优化设计。

2 模拟试验装置的优化设计

2.1 装置介绍

该装置的主体结构为矩形钢架,主发药包(动压源)被固定在矩形钢架的中心,在主发药的两边将乳化炸药样品分别用钢丝不同距离地绑在矩形钢架上(距离可调),并使乳化炸药样品和主发药的中心处于同一水平线上,如图 2 所示;然后将该装置完全浸没在水中,通过引爆主发药在水中形成冲击波,对不同距离的乳化炸药样品进行不同强度的动压加载,从而模拟延迟爆破中乳化炸药的动压减敏现象。

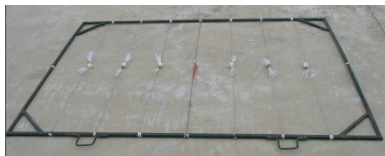


图 2 改进后的冲击波动压减敏装置

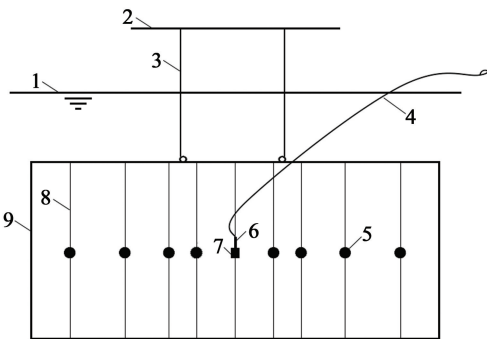
Fig. 2 Improved device for dynamic pressure desensitization

2.2 改进之处与功能简介

改进后的冲击波动压减敏装置,一个主发药可以同时获得多个受压的乳化炸药样品,不仅节约了因主发药而产生的试验成本,而且加快了试验进度,同时保证了试验条件的均一性,减小了试验误差;通过调整乳化炸药样品和主发药的距离,可以研究乳化炸药抗动压减敏性能与受压强度的关系及规律(纵向比较);通过改变主发药两边乳化炸药的配方,可以研究在相同冲击强度下不同配方的乳化炸药抗动压减敏性能(横向比较)。

3 动压减敏模拟试验

为了验证改进后冲击波动压减敏装置的性能,利用该装置(图 3)对常用的两种乳化炸药的抗动压减敏性能进行了研究。



1 - 水平面;2 - 支架;3 - 钢丝;4 - 导爆管;5 - 乳化炸药;
6 - 雷管;7 - 压装 RDX;8 - 钢丝;9 - 钢架

图 3 改进后的冲击波动压减敏试验原理图

Fig. 3 Schematic diagram of improved dynamic pressure desensitization experiment

3.1 炸药配方与防水处理

该装置中的主发药由 RDX 和石蜡按质量比 100 : 5 压装而成,密度为 1.65 g/cm^3 ,质量为 10 g;乳化炸药的配方见表 1。首先将试验中所使用的主发药和乳化炸药套上聚乙烯塑料袋,然后用防水胶布缠紧,封口处涂上凡士林,从而达到防水的目的。

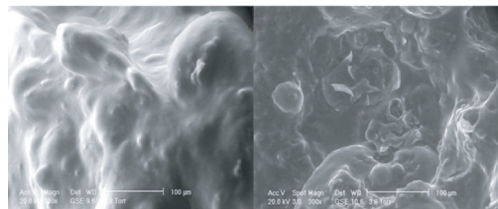
表 1 乳化炸药的配方(质量分数)

Tab. 1 Formulations of different emulsion explosives

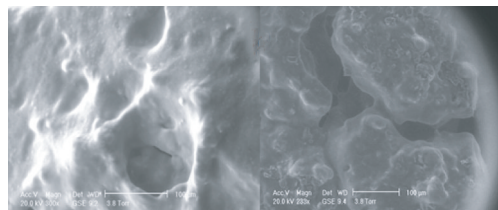
%			
乳化炸药	乳化基质	玻璃微球 (外加)	NaNO_2 (外加)
玻璃微球型	100	4	0
NaNO_2 型	100	0	0.2

3.2 受压乳化炸药微观结构图

图 4 分别是距离主发药 50 cm 处的玻璃微球型和 NaNO_2 型乳化炸药受压前后的微观结构图。由



(a) 玻璃微球型



(b) NaNO_2 型

图 4 乳化炸药受压前后微观结构 SEM 图

Fig. 4 SEM for micrograms of emulsion explosives before and after compression

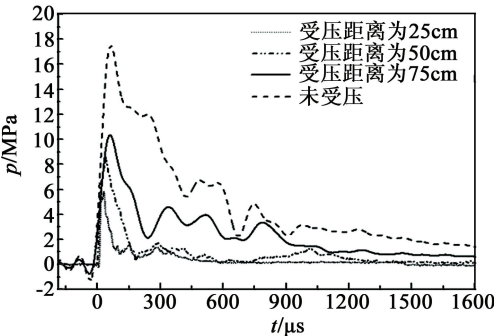
图 4 可知,当受到动压过载作用以后,玻璃微球型乳化炸药中的部分玻璃微球会被压碎,而 NaNO_2 型乳化炸药中的敏化气泡会被压缩变形,这些都会影响乳化炸药的敏化效果,从而导致乳化炸药的爆轰性能下降。

3.3 水下爆炸试验结果

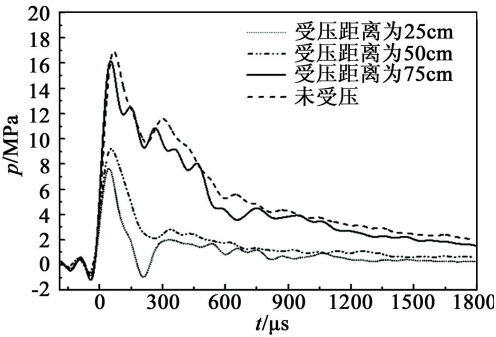
利用水下爆炸测试系统对受压乳化炸药的爆轰性能进行了研究,并与未受压乳化炸药进行了比较,水下爆炸试验条件和试验方法见文献[10]。

图 5 是玻璃微球型乳化炸药和 NaNO_2 型乳化炸药不同距离受压后的水下爆炸压力时程曲线。由图 5 可知,2 种乳化炸药受冲击波压缩后,水下爆炸冲击波峰值压力下降,并且降低程度与受压距离成反比;同时随着受压距离的减小,2 种乳化炸药水下爆炸冲击波的波宽亦减小。相同测试条件下,测得 2 次雷管水下爆炸冲击波峰值压力分别为 5.92 MPa 和 6.08 MPa,均值为 6.00 MPa。

表 2 为玻璃微球型乳化炸药和 NaNO_2 型乳化炸药在不同距离受压后,水下爆炸冲击波峰值压力的结果。



(a) 玻璃微球型



(b) NaNO_2 型

图 5 受压乳化炸药压力时程曲线

Fig. 5 Shock wave pressure-time curves of compressed emulsion explosives

3.4 分析与讨论

乳化炸药受压后爆轰性能的影响程度通常用减敏率来表示,减敏率的计算方法见文献[11-12],减

表 2 不同距离受压后乳化炸药水下爆炸冲击波压力峰值

Tab. 2 Shock wave peak pressures of emulsion explosives compressed at different distances

受压距离/cm	冲击波压力峰值/MPa	
	玻璃微球型	NaNO_2 型
25	4.5	5.7
40	5.9	6.0
50	6.6	7.2
60	7.1	8.8
75	8.0	12.1
未受压	13.6	13.3

敏率越小表示乳化炸药的抗动压减敏性能越强。表 3 是 2 种乳化炸药不同距离受压后的减敏率,为了更加清晰地表示乳化炸药减敏率与受压距离的关系和规律,将表 3 中的数据用图 6 中的关系曲线表示。

表 3 乳化炸药不同距离受压后的减敏率

Tab. 3 Desensitization ratios of emulsion explosives compressed at different distances

受压距离/cm	减敏率/%	
	玻璃微球型	NaNO_2 型
25	100.00	87.85
40	85.93	84.14
50	79.02	71.06
60	72.54	52.43
75	62.17	13.66

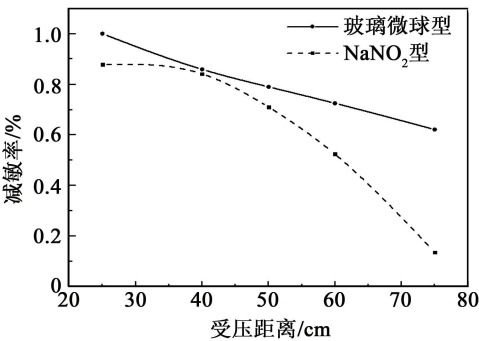


图 6 乳化炸药减敏率与受压距离的关系
Fig. 6 Relationships between desensitization ratio and compression distance of emulsion explosives

从图 6 可以看到,随着受压距离的增大,2 种乳化炸药的减敏率都呈现出下降的趋势,并且在相同受压距离下(相同冲击压缩强度), NaNO_2 型乳化炸药的减敏率要小于玻璃微球型乳化炸药,说明 NaNO_2 型乳化炸药的抗动压减敏能力强于玻璃微球型乳化炸药。

4 结论

与传统动压减敏装置相比,改进后的动压减敏装置,一个主发药能获得多个受压乳化炸药,不仅加快了试验进度,节约了试验成本,同时保证了试验条件的均一性,减小了试验误差;玻璃微球型和 NaNO_2 型乳化炸药的动压减敏试验结果表明,改进后的动压减敏装置能够很好地模拟延迟爆破,可为后续乳化炸药动压减敏的深入研究提供参考。

参 考 文 献

- [1] 王尹军,吕庆山,汪旭光. 冲击波对含水炸药减敏作用的试验研究[J]. 爆炸与冲击,2004,24(6):558-562.
Wang Yinjun, Lü Qingshan, Wang Xuguang. Experimental study on the desensitization of water-bearing explosives subjected to shock wave[J]. Explosion and Shock Waves, 2004, 24(6):558-562.
- [2] 颜事龙,陈东梁. 不同敏化气泡载体敏化的乳化炸药减敏压力研究[J]. 兵工学报,2006,27(5):887-890.
Yan Shilong, Chen Dongliang. Research on the desensitization pressure of emulsion explosives sensitized by different sensitizing bubble carriers[J]. Acta Armamentarii, 2006,27(5):887-890.
- [3] Khasainov B A, Ermolaev B S, Presles H N, et al. On the effect of grain size on shock sensitivity of heterogeneous high explosives[J]. Shock Waves, 1997,7(2):89-105.
- [4] Khasainov B A, Ermolaev B S, Presles H N, et al. Effect of glass microballoons on shock wave sensitivity and detonation critical diameter of condensed explosives [C]//Proceedings of Tenth International Detonation Symposium, 1993:749-757.
- [5] Wietand M S. Comparative sensitivity of permitted explosives against dynamic pressure desensitization[J]. Explosive Materials, 1987,16(2):33-36.
- [6] Nie Shulin. Pressure desensitization of a gassed emulsion explosive in comparison with micro-balloon sensitized

emulsion explosives[C]//Proceedings of Thirteen Annual Symposium on Explosives and Blasting Research. Las Vegas, Nevada, USA, 1997: 2-5.

- [7] 王尹军,李进军,方宏. 乳化炸药密度对其压力减敏的影响[J]. 爆炸与冲击,2007,29(5):529-534.
Wang Yinjun, Li Jinjun, Fang Hong. Influences of emulsion explosive density on its pressure desensitization[J]. Explosion and Shock Waves, 2007,29(5):529-534.
- [8] 吴红波,颜事龙,刘锋. 动压作用下乳化剂含量对乳化炸药破乳程度的影响[J]. 火工品,2011(2):47-49.
Wu Hongbo, Yan Shilong, Liu Feng. Influence of emulsifier content on demulsification degree of emulsion explosive under dynamic pressure[J]. Initiators & Pyrotechnics, 2011(2):47-49.
- [9] 颜事龙,王尹军. 冲击波作用下乳化炸药压力减敏的表征方法[J]. 爆炸与冲击,2006,26(5):441-447.
Yan Shilong, Wang Yinjun. Characterization of pressure desensitization of emulsion explosive subjected to shock wave[J]. Explosion and Shock Waves, 2006,26(5):441-447.
- [10] Cheng Yangfan, Ma Honghao, Shen Zhaowu. Detonation characteristics of emulsion explosives sensitized by MgH_2 [J]. Combustion, Explosion, and Shock Waves, 2013, 49(5):614-619.
- [11] Cheng Yangfan, Ma Honghao, Liu Rong, et al. Explosion power and pressure desensitization resisting property of emulsion explosives sensitized by MgH_2 [J]. Journal of Energetic Materials, 2014, 32(3):207-218.
- [12] Cheng Yangfan, Ma Honghao, Liu Rong, et al. Pressure desensitization influential factors and mechanism of magnesium hydride sensitized emulsion explosives[J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 2014, 39(2):267-274.

Optimal Design and Experimental Research of Dynamic Pressure Desensitization Device of Emulsion Explosives

CHENG Yangfan^①, YAN Shilong^①, WANG Quan^①, GUO Ziru^①, SHEN Zhaowu^②

①School of Chemical Engineering, Anhui University of Science and Technology (Anhui Huainan, 232001)

②School of Engineering Science, University of Science and Technology of China (Anhui Hefei, 230027)

[ABSTRACT] Based on the problems that traditional dynamic pressure desensitization device of emulsion explosive is disadvantageous to its utilization, optimal design of such device is implemented. Structure, function and experimental method of the improved device were introduced in detail, and anti-pressure ability of glass micro ball sensitized and NaNO_2 sensitized emulsion explosives were studied. Experimental results show that improved dynamic pressure desensitization device of emulsion explosive can meet the requirements of delay blasting simulation experiment, and may provide reference for further research of dynamic pressure desensitization of emulsion explosive.

[KEY WORDS] pressure desensitization; sensitizer; emulsion explosives; delay blasting; underwater explosion