

文章编号: 1001-1455(2009)05-0529-06

乳化炸药密度对其压力减敏的影响^{*}

王尹军¹, 李进军², 方 宏³

(1. 北京矿冶研究总院, 北京 100044;

2. 北京京煤化工有限公司, 北京 102741;

3. 江苏华美工程建设集团有限公司, 江苏 徐州 221131)

摘要: 在相同的乳胶基质内分别添加 2%、3%、4%、5% 的空心玻璃微球, 2%、3%、4%、5% 的膨胀珍珠岩和 0.10%、0.15%、0.20%、0.25% 的化学发泡剂制备了 3 组乳化炸药。测试了各组乳化炸药未受压时和受冲击波动态压缩作用之后的水下爆炸冲击波, 以波峰值计算他们的压力减敏度。比较了各组乳化炸药的减敏度大小, 分析了密度对乳化炸药压力减敏的影响。结果表明: 密度较大的乳化炸药压力减敏度较小, 膨胀珍珠岩或化学发泡剂的添加量越大, 乳化炸药越容易产生压力减敏作用; 空心玻璃微球的添加量由 2% 增加到 4%, 乳化炸药的减敏度增加, 但当空心玻璃微球的添加量由 4% 增加到 5% 后, 乳化炸药的减敏度反而减小。密度对乳化炸药压力减敏影响的主要原因在于密度调整剂周围的乳胶基质破乳。

关键词: 爆炸力学; 压力减敏; 冲击波; 乳化炸药; 密度调整剂; 乳胶基质; 破乳

中图分类号: O384; TQ560.7

国标学科代码: 130·3520

文献标志码: A

1 引言

乳化炸药在应用于毫秒延时爆破作业时, 如果炸药配方或孔网参数不合理, 可能会出现延期起爆的炮孔内装药被“压死”或爆轰不完全等事故, 即乳化炸药发生压力减敏现象。该现象在爆破作业中时有发生, 为爆破工程带来安全隐患, 已引起重视^[1-9]。但乳化炸药的装药密度对压力减敏作用影响的研究尚未见报道。乳化炸药的密度通常由添加夹带空气间隙的密度调整剂或化学气泡来调节, 通常, 调整剂的添加量越多, 乳化炸药的密度越小。乳化炸药的爆速和猛度等性能与密度的关系, 已形成一致认识, 即乳化炸药的爆速等参数的最大值与其最佳密度相对应, 乳化炸药的密度一般为 $1.15 \sim 1.25 \text{ g/cm}^3$ 。因此, 研究乳化炸药密度对其压力减敏作用的影响, 对于探索乳化炸药压力减敏机理和加深对乳化炸药性能的认识很有意义。

本文中分别以空心玻璃微球、膨胀珍珠岩和化学发泡剂为密度调整剂, 在相同的乳胶基质内添加不同百分比的密度调整剂制备 3 个系列的乳化炸药, 并对他们的压力减敏作用进行测试、计算和分析, 以期得出密度调整剂含量对乳化炸药压力减敏的影响规律, 并探讨密度调整剂颗粒周围乳胶基质的局部破乳在乳化炸药压力减敏中的作用。

2 试验测试

试验在安徽理工大学钢制爆炸水池中完成, 水池直径为 5.5 m、壁厚 8 mm、水深 3.62 m。将 10 g 受试炸药用塑料皮包裹成球形药包, 在水下 2.4 m 处受主发药包爆炸冲击波作用后, 再在水中单独引爆并测试其爆炸冲击波参数。受试乳化炸药药包中的雷管是在受压后插入的, 雷管的底部位于球形药包中心。主发药包由 5 g RDX 炸药压制而成, 外壳由牛皮纸手工卷制, 内径为 1.48 cm, 壁厚 2~3 mm, 装药长径比约为 2, 装药密度为 1.16 g/cm^3 。

* 收稿日期: 2008-05-09; 修回日期: 2009-02-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(50704005)

作者简介: 王尹军(1976—), 男, 博士, 工程师。

受试乳化炸药的压力减敏度 由下式计算^[10-11]

$$d_i = (p - p_l) / (p - p_c) \tag{1}$$

式中:下标 i 为乳化炸药的编号, p 为乳化炸药未受压时的爆炸冲击波峰压, p_l 为乳化炸药受压后的爆炸冲击波峰压, l 为受压距离, p_c 为相同试验条件下 1 发 8 号工业电雷管的爆炸冲击波峰压。由于压力减敏度的量纲为一, 将示波器捕获的冲击波信号波峰电压值直接代入式(1)可简化计算, 因此以下测试数据均未作实际压力换算。

2.1 空心玻璃微球敏化的乳化炸药

在相同的乳胶基质内分别添加基质质量的 2%、3%、4%、5% 的空心玻璃微球制得乳化炸药。为了便于区分, 将制得的乳化炸药进行编号, 分别对应 1~4 号, 表 1 给出了 4 号乳化炸药受压后爆炸冲击波测试结果, 表中 t_w 为受试药包从受压到引爆所需的时间, U 为乳化炸药受压后的爆炸冲击波峰压对应的电压信号, T 为气泡的脉动周期, t_r 为冲击波的上升时间, t_f 为冲击波的下降时间。

表 1 4 号乳化炸药受压后爆炸冲击波的测试结果

Table 1 Test results for explosion waves of emulsion explosive 4 pressed in water

序号	l/cm	t_w/s	U/V	T/ms	$t_r/\mu s$	$t_f/\mu s$
0510023	8	415	0.865	33.26	18.18	85.45
0510025	8	398	0.747	34.64	18.18	93.64
平均值			0.806	33.95	18.18	89.55
0510006	10	415	1.532	50.38	20.00	138.18
0510012	10	416	1.411	49.27	20.91	179.09
平均值			1.472	49.83	20.46	158.64
0510017	15	431	1.650	50.41	18.18	190.91
0510021	15	413	1.737	50.96	19.09	120.91
平均值			1.694	50.68	18.64	155.91

相同测试条件下 1 发雷管和未受压 4 号乳化炸药受试药包的冲击波波峰电压值分别为 0.648 和 1.825 V, 将 1~4 号乳化炸药和雷管的相关数据分别代入式(1)计算各乳化炸药的压力减敏度, 结果列于表 2, 依据表 2 中数据绘制的压力减敏度与受压距离之间的关系曲线见图 1(a)。

表 2 不同的受压距离 1~4 号乳化炸药压力减敏度的计算结果

Table 2 Calculated pressure desensitization degrees of emulsion explosives 1~4 in the case of different pressed spaces

l/cm	d_1	d_2	d_3	d_4
7	0.683 4	1.000 0		
8	0.289 8	0.964 9	0.971 0	0.864 8
10	0.209 9	0.429 2	0.639 2	0.300 2
15	0.130 7	0.264 3	0.085 2	0.111 8

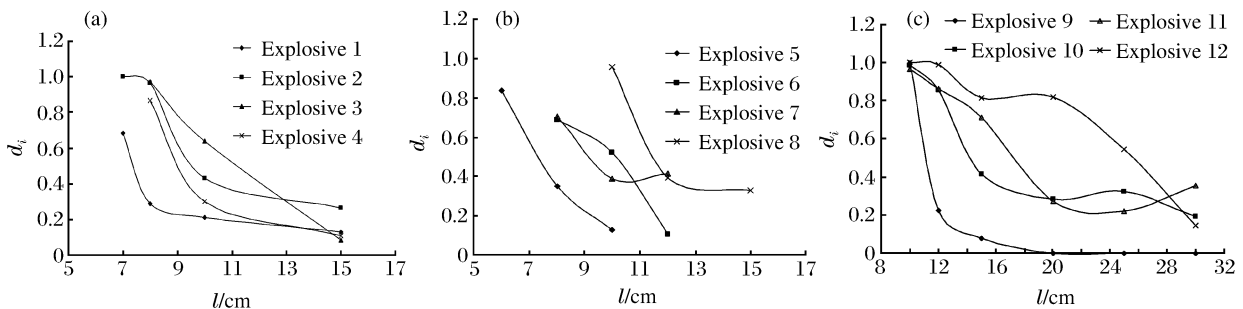


图 1 不同的乳化炸药压力减敏度与受压距离的关系曲线

Fig. 1 Curves of pressure desensitization degrees of different emulsion explosives against pressed spaces

2.2 膨胀珍珠岩敏化的乳化炸药

该组乳化炸药与 1~4 号乳化炸药的区别在于,将相应的空心玻璃微球替换为膨胀珍珠岩,对应的编号分别为 5~8。表 3 给出了 6 号乳化炸药受压后爆炸冲击波的测试结果。5~8 号乳化炸药压力减敏度的数据这里不再给出,图 1(b)给出该组乳化炸药压力减敏度与受压距离的关系曲线。

表 3 6 号乳化炸药受压后爆炸冲击波的测试结果

Table 3 Test results for explosion waves of emulsion explosive 6 pressed in water

序号	l/cm	t_w/s	U/V	T/ms	$t_r/\mu s$	$t_i/\mu s$
0512010	8	396	1,208	46.03	23.640	123.69
0512013	8	374	0,886	38.10	19.090	93.64
平均值			1,047	42.07	21.370	108.67
0512004	10	432	1,299	51.09	24.550	182.73
0512006	10	381	1,217	49.78	21.820	109.09
平均值			1,258	50.43	23.190	145.91
0512018	12	396	1,744	51.69	20.000	177.27
0512020	12	440	1,830	51.53	20.910	109.09
平均值			1,787	51.61	20.455	143.18

2.3 化学气泡敏化的乳化炸药

该组乳化炸药是在相同的乳胶基质内分别混合基质质量的 0.10%、0.15%、0.20%、0.25% 的 H 发泡剂制得的,混合温度为 40~50 °C,对应的编号为 9~12。图 1(c)给出了他们的压力减敏度与受压距离之间的关系曲线。

3 试验结果与分析

乳化炸药压力减敏度随受压距离的变化曲线,可以用来比较不同乳化炸药的抗冲击性能。不难看出,曲线的位置越靠近坐标系的左下角,乳化炸药的压力减敏度越小,亦即抗冲击性能越好。反之,乳化炸药的压力减敏度越大。据此,由图 1 中各组曲线可判断出,本文中测试的 3 组乳化炸药中压力减敏度最小的 3 种乳化炸药分别为 1、5 和 9 号,他们的共同特点是密度调整剂的含量均为各组中最小的,即乳化炸药的密度最大。图 1 中各组曲线均表明,随着密度调整剂添加量的增加,乳化炸药的压力减敏度均不同程度地增加。但空心玻璃微球敏化的乳化炸药,微球添加量由 4% 增加到 5% 后压力减敏度下降,如图 2(a)所示。图 2(b)为 H 发泡剂添加量与压力减敏度关系曲线。

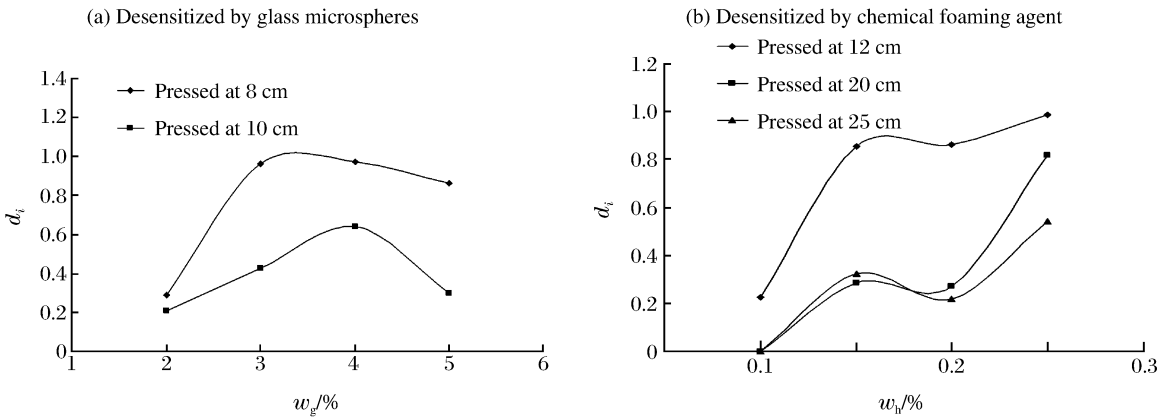


图 2 压力减敏度与密度调整剂含量的关系曲线

Fig. 2 Curves of pressure desensitization degrees against density regulator mass content in the case of different pressed spaces

不难看出,无论是空心玻璃微球、膨胀珍珠岩还是化学发泡剂,添加量较少时有利于提高乳化炸药的抗冲击性能。但是,如果敏化剂的含量过少,会影响乳化炸药的起爆感度和爆炸威力。因此,可以定性地得出这样的结论:在满足乳化炸药起爆感度和稳定爆轰的前提下,敏化剂的添加量越少乳化炸药越不容易发生压力减敏。另外,从上述各图中的曲线还可以看出:空心玻璃微球和膨胀珍珠岩的添加量分别由 2% 增加到 3% 时,乳化炸药的应力减敏度上升明显;空心玻璃微球和膨胀珍珠岩的添加量分别由 4% 增加到 5% 时,乳化炸药的应力减敏度变化也较明显;但空心玻璃微球和膨胀珍珠岩的添加量分别由 3% 增加到 4% 时,乳化炸药的应力减敏度变化不明显。化学气泡敏化的乳化炸药也有类似情况。

4 机理探讨

装药密度是工业炸药的一个基本性能参数,不仅直接影响炸药的爆轰感度,而且与炸药的爆速、猛度和做功能力等性能均有很大关系。一般地,密度过大或过小均对炸药的爆轰不利。乳化炸药密度对其应力减敏的影响,表现出与爆速、猛度和做功能力等性能的不同之处,即密度较大对于降低其应力减敏度有利。对于相同的乳化炸药基质而言,密度的大小取决于均匀分布的密度调整剂在单位体积内的数量,乳化炸药的密度越大表明单位体积内密度调整剂的数量越少。可见,密度对乳化炸药应力减敏的影响,体现在密度调整剂的分布密度对其的影响。

通常情况下乳胶基质在常温下不具有雷管感度,只有添加适量的密度调整剂并掺和均匀后才形成具有雷管感度的成品乳化炸药。由于密度调整剂微小颗粒的密度比乳化炸药基质的密度小得多,因此投射到乳化炸药内部的冲击波波阵面会在微小颗粒与基质的接触面发生反射,并对颗粒产生压缩作用,在冲击波的传播方向上产生位移、变形甚至破裂,其程度与冲击波强度有关。根据工业炸药起爆的“热点”理论,如果微小空心颗粒产生较大的位移、变形或破坏,则形成有效热点的尺寸、温度和数量会受到影响。无疑,这种情况对乳化炸药爆轰反应的激发和传播不利。不难理解,微小空心颗粒的破坏程度越大,乳化炸药的爆轰性能下降越明显,在本试验中表现为应力减敏度较大。

但是,在相同强度的冲击波压力作用下,微小空心颗粒的变形或破坏程度与其数量没有直接的关系,相反,颗粒数量的增加还会使冲击波的衰减速度加快,强度越来越小,对于空心颗粒更有利。可见,仅从敏化剂颗粒的破坏角度来考虑,要解释密度对乳化炸药应力减敏的影响会遇到困难。

试验中注意到 2 个现象:一是分别用膨胀珍珠岩和化学气泡敏化的乳化炸药在受到较强冲击波作用后药包中心有一个空腔;二是明显的破乳现象,如药体受压后颜色发白、受到压力强度较大的药包表面凉干后有一层白色晶体、膨胀珍珠岩敏化的乳化炸药受压后温度明显上升等(以硝酸铵为主的氧化剂晶体是白色的,且硝酸铵从饱和溶液中析出是放热过程)。

出现第一个现象是由于药包密度与水的差异且药包近似呈球形,入射冲击波入射到药包内部后其波阵面会产生弯曲而不再保持为平面,这样会使较大位移的微小气泡向药包中心移动,在此过程中相邻气泡会合并,并最终在药包中心聚合在一起形成一个大气泡。尽管在相同强度的冲击波作用下微小空心颗粒的破坏程度相同,但由于数量增多,因此在药包中心聚合的机会增加,尤其是颗粒尺寸较大的膨胀珍珠岩和化学气泡,致使受压后的乳化炸药有效热点减少。

在空心玻璃微球敏化的乳化炸药药包中心未发现空腔,这可能与空心玻璃微球尺寸小而均匀且抗压强度较高有关。这点差异能够解释空心微球添加量由 4% 增加到 5% 后乳化炸药应力减敏度降低的现象。这是由于冲击波在药包内部传播过程的衰减作用,当空心玻璃微球的添加量增加到相当数量后,冲击波的衰减程度加大,对空心玻璃微球破坏作用减小,尤其是对药包中心处的微球。

可见,对第一个现象的解释,能够部分解释膨胀珍珠岩和化学气泡的分布密度对乳化炸药应力减敏的影响,但不适合空心玻璃微球。况且,即使是该现象,也只发生在受到的冲击波强度较大的情况下。

和其他工业炸药相比,乳化炸药具有特殊的内部物理结构,即体积分数比油相大得多的氧化剂过饱和水溶液以极微小的内相粒子被乳化剂和油相材料形成的极薄液膜包裹。乳化炸药的稳定性与其内相粒子的大小和两相界面膜的性质密切相关,内相粒子尺寸越小界面膜越稳定,乳化炸药体系越稳定,爆

炸性能也越好。在冲击波对密度调整剂的微小颗粒作用时,冲击波在颗粒与基质接触面的反射、微小空心颗粒在移动过程中对基质的摩擦和挤压作用、颗粒温度的升高及颗粒破裂等均会对两相液膜产生不利影响,受影响的界面膜破裂致使基质局部破乳。密度调整剂添加量增加后,与其接触的乳化炸药基质增多,破乳基质所占比例升高,破乳范围扩大,破乳程度加强。在这种情况下,即使是有效热点数量不变,乳化炸药的爆轰性能也会下降,从而表现出较高的压力减敏度。

5 结 论

乳化炸药的减敏受装药密度影响较大,无论是用夹带空气间隙的固体微粒(空心玻璃微球或膨胀珍珠岩)还是用化学气泡作密度调整剂,乳化炸药压力减敏度随密度的变化规律大致相同,即:密度较小或密度调整剂的添加量较大时,乳化炸药较容易发生压力减敏现象。仅从密度调整剂微小颗粒的破坏不能解释该试验现象,只有考虑到乳化炸药基质的局部破乳才能更好地做出解释,而且局部破乳与密度调整剂的种类、颗粒大小和分布等有关。因此试验结果可为乳化炸药压力减敏机理研究提供依据。

参考文献:

- [1] 米悉尔, 德米西, 比古尔. 由压缩引起的降敏作用[J]. 段鲁珍, 译. 炸药与爆破, 1998(1):14-17.
- [2] Wieland M S. The relative sensitivity of permissible explosives to dynamic pressure desensitization[C]//Green A R, Balkema A A. Proceedings of the 21st International Conference of Safety in Mines Research Institutes. Sydney, Australia, 1985:168-179.
- [3] Sumiya F, Hirosaki Y, Kato Y, et al. Detonation velocity of precompressed emulsion explosives[C]//Proceedings of the 28th Annual Conference on Explosives and Blasting Technique. Cleveland: International Society of Explosives Engineers, 2002:253-263.
- [4] Matsuzawa T, Murakami M. Detonability of emulsion explosives under dynamic pressure[J]. Journal of the Industrial Explosives Society (Japan), 1982,43(5):317-322.
- [5] Liu Q, Tidman P, Tunaley D, et al. Observation of the shock resistance of emulsion explosives in rock blasting[C]//Proceedings of the 11th Symposium on Explosion and Blasting Research. Nashville: International Society of Explosives Engineers, 1995:26-37.
- [6] Nie S. Pressure desensitization of a gassed emulsion explosive in comparison with micro-balloon sensitized emulsion explosives[C]//Proceedings of the 13th Annual Symposium on Explosives and Blasting Research. Lasvegas: International Society of Explosives Engineers, 1997:161-172.
- [7] 颜事龙, 陈东梁, 王尹军. 动态压力对乳化炸药分散相粒径变化和减敏效应的影响[J]. 煤炭学报, 2004, 29(6):676-679.
YAN Shi-long, CHEN Dong-liang, WANG Yin-jun. The effect of dynamic pressure on the desensitization and particle diameters change of the dispersive phase of emulsion explosives[J]. Journal of China Coal Society, 2004, 29(6):676-679.
- [8] 张少波, 高铭, 滕威, 等. 煤矿爆破异常现象发生机理研究[J]. 煤炭学报, 2005, 30(2):191-195.
ZHANG Shao-bo, GAO Ming, TENG Wei, et al. Study on the mechanism about blasting malfunction in coal mine [J]. Journal of China Coal Society, 2005, 30(2):191-195.
- [9] 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.
XIE Li-feng. A discussion on desensitization of emulsion explosive under pressure action[J]. Explosive Materials, 1991, 20(2):6-9.
- [10] 王尹军, 吕庆山, 汪旭光. 冲击波对含水炸药减敏作用的实验研究[J]. 爆炸与冲击, 2004, 24(6):558-561.
WANG Yin-jun, LÜ Qing-shan, WANG Xu-guang. Experimental study on the desensitization of water-bearing explosives subjected to shock wave[J]. Explosion and Shock Waves, 2004, 24(6):558-561.
- [11] 颜事龙, 王尹军. 冲击波作用下乳化炸药压力减敏度的表征方法[J]. 爆炸与冲击, 2006, 26(5):441-447.
YAN Shi-long, WANG Yin-jun. Characterization of pressure desensitization of emulsion explosive subjected to shock wave[J]. Explosion and Shock Waves, 2006, 26(5):441-447.

Influences of emulsion explosive density on its pressure desensitization

WANG Yin-jun^{1*}, LI Jin-jun², FANG Hong³

(1. *Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy, Beijing 100044, China;*

2. *Beijing Jingmei Chemical Industry Co Ltd, Beijing 102471, China;*

3. *Jiangsu Huamei Engineering Construction Group Co Ltd,
Xuzhou 221131, Jiangsu, China)*

Abstract: Three groups of emulsion explosives were made of the same emulsion matrix mixed with 2%, 3%, 4% and 5% by the mass of hollow glass microspheres respectively in group 1, and with 2%, 3%, 4% and 5% by the mass of expanded perlite respectively in group two, and with 0.10%, 0.15%, 0.20% and 0.25% by the mass of chemical foaming agent in group 3. The explosion shock waves of all the emulsion explosives in every group were tested in water in two cases that when they were not pressed and after they were compressed by shock waves which were produced by the host charge underwater, and their pressure desensitization degrees were calculated with the peak pressure values of tested shock waves. The pressure desensitization degrees of the emulsion explosives in every group were compared and the influence of their density on the pressure desensitization was analyzed. An emulsion explosive with higher density has a lower pressure desensitization degree. The higher the mass content of expanded perlite or chemical foaming agent mixed with emulsion matrix, the more easily the pressure desensitization of the emulsion explosive occurs. When the mass content of hollow glass microspheres mixed with emulsion matrix increases from 2% to 4%, the pressure desensitization degree of the emulsion explosive increases. But the mass content of hollow glass microspheres mixed with emulsion matrix increases from 4% to 5%, the pressure desensitization degree of the emulsion explosive decreases. Emulsion explosive density influencing its pressure desensitization is mainly due to the emulsion breakage around the density regulator particulates.

Key words: mechanics of explosion; pressure desensitization; shock wave; emulsion explosives; density regulator; emulsion matrix; emulsion breakage

* Corresponding author: WANG Yin-jun

E-mail address: yjwang0281@163.com

(责任编辑 张凌云)