

文章编号: 1006-9941(2008)03-0247-04

动压作用下敏化剂对乳化炸药破乳程度的影响

吴红波, 颜事龙, 刘 锋
(安徽理工大学, 安徽 淮南 232001)

摘要: 利用电导率仪测量了玻璃微球和膨胀珍珠岩两种敏化剂敏化的乳化炸药在动压作用前后的电导率变化情况, 用电导率的大小来表征乳化炸药的破乳程度, 分析了敏化剂的种类和含量对乳化炸药破乳程度的影响。结果表明, 在相同的动压作用下, 乳化炸药的电导率随着敏化剂含量的增加而增大, 对于相同敏化剂含量的乳化炸药来说, 玻璃微球敏化的乳化炸药的电导率小于膨胀珍珠岩敏化的乳化炸药, 因此, 玻璃微球敏化的乳化炸药的抗动压性能优于膨胀珍珠岩敏化的乳化炸药, 适当降低敏化剂的含量, 可以降低乳化炸药的破乳程度, 提高乳化炸药的抗动压性能。

关键词: 爆炸力学; 乳化炸药; 动压; 敏化剂; 破乳程度; 电导率

中图分类号: TJ55

文献标识码: A

1 引 言

乳化炸药是以氧化剂水溶液的微细液滴为分散相、燃料油为连续相的油包水型热力学不稳定体系, 当体系承受一个在极短时间内发生变化的动态压力时(比如冲击波、应力波、压力脉冲等), 炸药的爆轰感和爆轰性能就会急剧降低^[1-2], 严重时就会产生半爆和拒爆现象, 乳化炸药在动压作用下爆轰性能下降的现象称为乳化炸药的动压减敏效应, 这种减敏效应在微差爆破过程中表现得十分明显, 对于乳化炸药的减敏现象, 国内外许多专家和学者进行了不同程度的研究。国内的解立峰^[3]和美国矿山局的 Richard^[4]等分别研究了煤矿延期爆破时乳化炸药受压减敏性能与炮眼间距及起爆时差的关系, 发现引起炸药受压减敏因素中, 炮眼间距占主导因素。聂树林^[5]设计了动态压力下测试乳化炸药爆轰性能的方法, 对乳化炸药的受压减敏现象进行了研究, 并对化学气泡敏化的乳化炸药进行了数值模拟, 他认为气泡尺寸缩小是压死的主要原因。颜事龙^[6]、陈东梁^[7]等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, 考察了不同动压强度下的乳化炸药分散相粒径变化对乳化炸药起爆感和爆轰性能的影响, 研究发现随着外界动态压力的增加, 乳化炸药分散相的粒径增大, 乳化炸药的起爆感和爆轰性能下降, 严重时甚至产生拒爆。本实验运用电导法测量了乳化炸药在受动压作用前后乳化炸药电导率的变化, 用电导率的

大小来表征乳化炸药的破乳程度, 分析了敏化剂类型及含量对乳化炸药破乳程度的影响, 其研究成果对进一步认识乳化炸药的减敏机理有一定参考价值。

2 实验部分

2.1 实验装置

实验装置由动态加载系统和数据测试系统两部分构成, 动压加载系统主要由爆炸水池、主发药包、被测药包、药包固定和定位装置等几部分构成。数据测试系统主要由压力传感器、放大器、数据存储示波器和低噪声电缆等部分组成, 实验装置如图 1 所示。

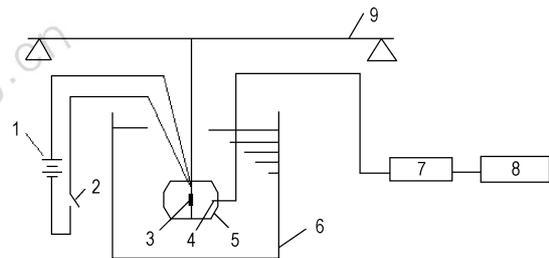


图 1 实验装置图

1—电源, 2—开关, 3—药包, 4—压力传感器, 5—铁架子,
6—水池, 7—放大器, 8—示波器, 9—行车

Fig. 1 Sketch of experimental apparatus

1—power, 2—switch, 3—charge, 4—pressure sensor,
5—iron shelf, 6—cistern, 7—amplifier,
8—oscilloscope, 9—beam engine

2.2 测试方法

实验前先对主发药包进行标定, 即将主发药包固定在铁架子上, 将其放在水池一定深度处引爆^[8], 用压力传感器测出水下爆炸冲击波的大小, 然后改变主发药

收稿日期: 2007-11-27; 修回日期: 2008-01-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50574004)

作者简介: 吴红波(1975-), 男, 博士研究生, 从事乳化炸药性能研究及爆炸安全技术与管理的教学与科研工作。e-mail: hbwu@aust.edu.cn

包与传感器之间的距离,就得到了离主发药包不同距离处的冲击波压力,同时还得到冲击波压力上升时间,下降时间以及气泡脉动周期等,实验结果见表1。

表1 主发药包水下爆炸冲击波测量值

Table 1 Test results of underwater blast shockwave pressure of initiative charge explosive

No.	distance /cm	peak pressure /MPa	rise time / μ s	fall time / μ s	bubble period /ms
1	10	60.592	16.99	123.08	34.98759
2	15	44.037	12.05	86.12	36.11456
3	20	31.084	11.76	117.28	34.79743
4	25	30.244	10.48	70.73	35.85319
5	30	24.401	11.11	118.40	35.09364
6	40	18.870	11.35	91.53	34.96388
7	45	14.364	10.66	67.38	35.82614
8	60	9.884	10.59	63.39	36.12857

实验用被测药包为乳化炸药,其基质组成(质量分数)如下:氧化剂、水、还原剂和乳化剂的含量分别为83.5%、11%、3.5%和2%。乳化炸药是在乳化基质冷却到50~60℃时,外加敏化剂制得,敏化剂为玻璃微球(GMB)和膨胀珍珠岩,二者含量均为2%、3%和4%,将制成的乳化炸药分别制成10g集中药包,将被测的乳化炸药药包固定在离主发药包一定距离处并放入爆炸水池中引爆,得到受压后的被测药包,改变主发药包与被测药包之间的距离,可得到受压程度不同的被测药包。由表1可知,当主发药包和被测药包之间的距离为10cm时,其受到的冲击波压力为60.592MPa,当它们之间的距离为30cm时,其受到的压力为24.401MPa,当距离变为60cm时,被测药包受到的压力仅为9.884MPa。

2.3 电导率测试

为了表征乳化炸药受压后的破乳程度,本实验采用DDS-11A型电导率仪对受压后乳化炸药的电导率进行测定,乳化炸药是一种油包水的高内相热力学不稳定体系,油相是良好的绝缘体,不导电。而水相则是由硝酸铵、硝酸钠、尿素等分子组成的过饱和溶液,其中存在 NH_4^+ 、 Na^+ 、 NO_3^- 等导电的离子,电导过程实际就是通过正、负离子的定向移动而传递电荷的。因此对于未受压的乳化炸药来说,由于其油包水的结构保持完好,电阻无穷大或是电导率很小(电导率都在 $10^{-2} \mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$ 以下,可以忽略不计)。受到动压作用后,乳化炸药的这种W/O型热力学不稳定体系将发生破坏,最终导致破乳,使部分水相从油相中分离出来,因此就可以通过测定乳化炸药电导率的变化来表征乳化炸药的破乳程度,破乳后的电导率远远大于受压前的电导率。

2.4 实验结果及分析

玻璃微球敏化和膨胀珍珠岩敏化的乳化炸药受压后的电导率变化情况如图2~图6所示。

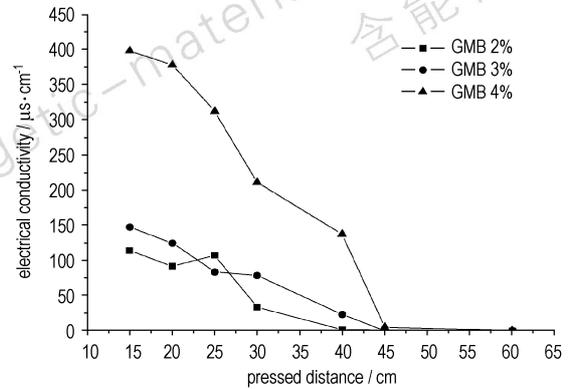


图2 玻璃微球敏化的乳化炸药受压后电导率变化曲线

Fig. 2 Electrical conductivity curves of emulsion explosive sensitized by GMB

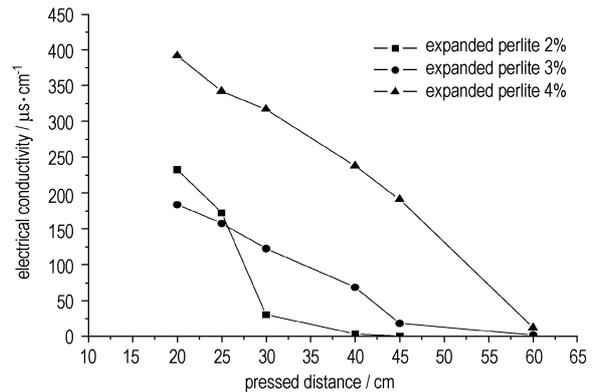


图3 膨胀珍珠岩敏化的乳化炸药受压后电导率变化曲线

Fig. 3 Electrical conductivity curves of emulsion explosive sensitized by expanded perlite

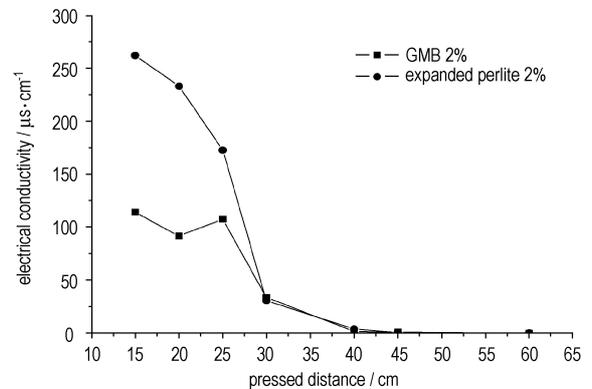


图4 敏化剂含量为2%的乳化炸药电导率变化曲线

Fig. 4 Electrical conductivity curves of emulsion explosive sensitized by 2% sensitizing agent

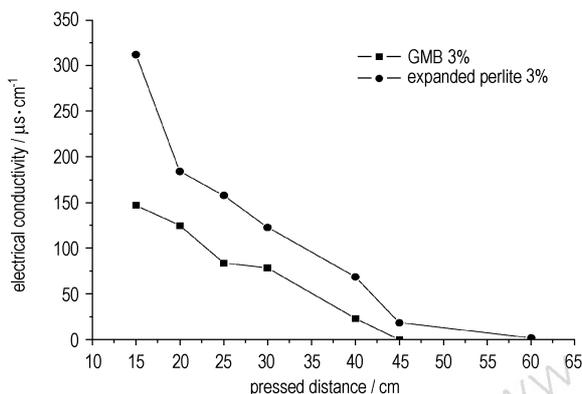


图5 敏化剂含量为3%的乳化炸药电导率变化曲线

Fig. 5 Electrical conductivity curves of emulsion explosive sensitized by 3% sensitizing agent

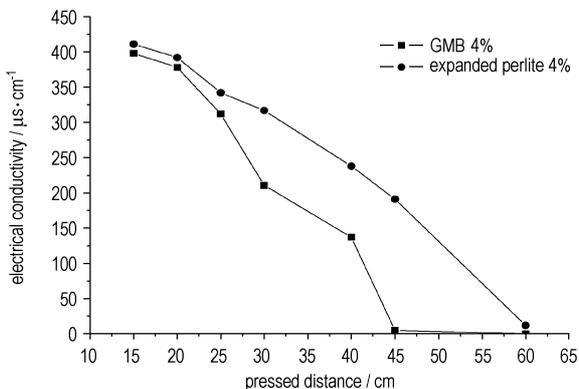


图6 敏化剂含量为4%的乳化炸药电导率变化曲线

Fig. 6 Electrical conductivity curves of emulsion explosive sensitized by 4% sensitizing agent

由图2和图3可知,玻璃微球和膨胀珍珠岩敏化后的乳化炸药在受压作用后,随着受压距离的增大,电导率值逐渐减小,这是因为随着距离的增大,乳化炸药所受的动压力(冲击波压力)减小,其发生破乳的可能性也逐渐降低,因此其电导率也逐渐下降。另外,从图2和图3中还可以看出,随着敏化剂含量的增加,在受压距离一定时,即受到的动压大小一定时,乳化炸药的电导率呈增大趋势,这是由于敏化剂含量越大,乳化炸药体系中存在的微小界面也就越多,这种微小界面的存在对乳化炸药油包水结构的稳定性是很不利的,因为冲击波对炸药作用时,界面附近的乳胶体更容易发生破乳,因此随着乳化炸药中玻璃微球和膨胀珍珠岩含量的增加,乳化炸药在受到动压的作用下发生破乳的几率和程度就会随之增加,当乳化炸药破乳后,由于油相和水相分离,水相粒子发生聚结变大,硝酸铵颗粒会发生不同程度的析晶,导致体系的均一性变差,分散相颗粒的增大

和油水相的分离对乳化炸药爆轰反应的成长是不利的,因为乳化炸药优良的爆炸性能得益于氧化剂和还原剂的紧密接触,分散相颗粒的增大和油水相的分离使得氧化剂和还原剂的接触面积减少,爆轰反应时的化学反应速率下降,作功能力降低,从而使乳化炸药发生不同程度的减敏现象。另外当乳胶颗粒增大后,形成的热点可能不足以使颗粒升高到足够的温度而发生快速的化学反应,这也可能造成乳化炸药爆轰性能的下降^[9-10]。

为了比较不同敏化剂在动压作用下对乳化炸药破乳程度的影响,图4~图6给出了含量分别为2%、3%和4%的玻璃微球和膨胀珍珠岩敏化的乳化炸药在不同受压距离下的电导率变化情况。

由图4~图6可以看出,玻璃微球敏化的乳化炸药的电导率要小于膨胀珍珠岩敏化的乳化炸药,也就是说在相同的动压作用下,玻璃微球敏化的乳化炸药的破乳程度要小于膨胀珍珠岩敏化的乳化炸药,造成这种结果的原因主要有以下几个方面:

(1) 玻璃微球的抗压性能优于膨胀珍珠岩,因此在相同的动压作用下,玻璃微球的破碎程度比膨胀珍珠岩小,破碎后的破片对乳化炸药的油包水结构的破坏相对较小,因此玻璃微球敏化的乳化炸药在相同动压作用下的破乳程度要小,相应的电导率也就较低。

(2) 玻璃微球为封闭的球形颗粒,表面光滑,在乳化基质中对油膜的破坏较小,而膨胀珍珠岩是一种开放型的形状不规则的固体颗粒,其尖锐的棱角对油膜的破坏作用较大,当乳化炸药在受到外界压力的作用时,其棱角会刺穿油膜,使水相从油膜中流出,从而使乳化炸药发生破乳和析晶,电导率增大。

(3) 乳化炸药内相液珠油膜的厚度非常薄,约为 $0.1\sim 0.2\ \mu\text{m}$ 。当乳化炸药受动压作用时,由于动压力非常大,而且作用时间极短,油膜在瞬间的冲击波压力作用下极有可能破裂,使水相从油膜中流出,另外,玻璃微球和膨胀珍珠岩被压碎的瞬间,被压缩的气泡可能发生聚能射流,使油膜破裂而导致破乳析晶,电导率增大。

3 结论

(1) 当动压一定时,乳化炸药的破乳程度随着敏化剂含量的增加而增大,因此适当降低乳化炸药中敏化剂的含量,可以使乳化炸药在动压作用下的破乳程度减小,乳化炸药的稳定性提高。

(2) 对于质量分数相同的玻璃微球和膨胀珍珠岩敏化的乳化炸药来说,在相同的动压作用下,玻璃微球敏化的乳化炸药的破乳程度要低于膨胀珍珠岩敏化

的乳化炸药,因此玻璃微球敏化的乳化炸药的抗压性能高于膨胀珍珠岩敏化的乳化炸药。

参考文献:

- [1] Toshio Matsuzawa, Masaharu Murakami. Detonability of emulsion explosive under dynamic pressure [J]. *Journal of the Industrial Explosives Society (Japan)*, 1982,43(5): 317-322.
- [2] Sumiya, Hiroaki F, Kato Y, et al. Characteristics of pressure wave propagation in emulsion explosives [C] // Proceedings of the 27th Annual Conference on Explosives and Blasting Technique. Orlando, Florida, 2001 (II): 1-11.
- [3] 解立峰. 乳化炸药受压钝化问题的探讨[J]. *爆破器材*, 1991(2): 6-9.
XIE Li-feng. Discussion on the pressure desensitization problem of emulsion explosives[J]. *Explosive Materials*, 1991(2): 6-9.
- [4] Richard J Mainiero, Michael S Wieland. The relationship between hole spacing and misfires of permissible explosives[C] // Proceeding of the Second Mini-Symposium on Explosives and Blasting Research. Atlanta, Georgia USA, 1986. 16-27.
- [5] 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.
NIE Shu-lin. Experimental study and numerical simulation of the dead-press process of emulsion explosives sensitized by chemical bubbles[J]. *Foreign Metal Mining Magazine*, 1999(2): 49-56.
- [6] 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.
- [7] 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 Dong-liang, YAN Shi-long, 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.
- [8] 王建灵, 赵东奎, 郭炜, 等. 水下爆炸能量测试中炸药入水深度的确定[J]. *火炸药学报*, 2002,25(2): 30-32.
WANG Jian-ling, ZHAO Dong-kui, GUO Wei, et al. Determination of the reasonable depth of explosives in water to measure underwater explosive energy [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2002,25(2): 30-32.
- [9] 王尹军, 汪旭光, 宋锦泉. 敏化方式对乳化炸药减敏作用的影响[J]. *火炸药学报*, 2005,28(3): 41-43.
WANG Yin-jun, WANG Xu-guang, SONG Jin-quan. Influence of sensitizing methods upon pressure desensitization of emulsion explosive[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2005,28(3): 41-43.
- [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): 558-562.
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): 558-562.

Effect of Sensitizing Agent on Demulsification Degree of Emulsion Explosive under Dynamic Pressure

WU Hong-bo, YAN Shi-long, LIU Feng

(Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: Using electrical conductivity apparatus, electrical conductivity of emulsion explosive sensitized by two kinds of sensitizing agents was measured under dynamic pressure. Demulsification degree of emulsion explosive was denoted by electrical conductivity. Effects of the type and content of sensitizing agent on demulsification degree were analyzed. Experimental results show that the electrical conductivity of emulsion explosive increases with sensitizing agent content under the same dynamic pressure, on the other hand, with the same content of sensitizing agent, the electrical conductivity of emulsion explosive sensitized by glass micro-balloon (GMB) is less than that of sensitized by expanded perlite. So the dynamic pressure resistance ability of emulsion explosive sensitized by GMB is better than that of sensitized by expanded perlite. Reducing sensitizing agent content properly can reduce demulsification of emulsion explosive and improve its dynamic pressure resistance ability.

Key words: explosion mechanics; emulsion explosive; dynamic pressure; sensitizing agent; demulsification degree; electrical conductivity