

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2017.03.007

大孔径深孔含水爆破混装乳化炸药性能研究*

张建国 刘大维

葛洲坝易普力四川爆破工程有限公司(四川成都,610000)

[摘 要] 大孔径深孔含水爆破中,混装乳化炸药受到来自炸药本身重压、回填渣的压力以及炮孔中水的侵蚀,炸药爆炸性能发生改变。为了分析压力及水对混装乳化炸药的影响规律,提出了一种新型乳化炸药抗压性试验方法,模拟了深孔爆破环境气泡敏化的混装乳化炸药的爆速随孔压变化规律;0.1、0.2 MPa 下 24 h 内爆速较高,随着压力增加及加压时间的延长,爆速下降直至拒爆;同时,通过测试乳胶基质中硝酸铵的溶失值以及乳胶基质的溶胀厚度,分析了乳化剂、油相材料对其抗水稳定性的影响。结果表明:添加质量分数 1% 的基础油,Span80、高分子型乳化剂 EPE-1 添加质量比达到 1:1 后,溶失值及溶胀厚度较小;再增加 EPE-1 的含量,抗水性、稳定性基本不发生变化。提出了提高混装乳化炸药抗水稳定性的方法。

[关键词] 大孔径深孔爆破;混装乳化炸药;抗压性;抗水性

[分类号] TD235.2⁺1;TJ510.6

Properties of Mixed Emulsion Explosive Used in Large-diameter Deep-hole Water-bearing Blasting

ZHANG Jianzhou, LIU Dawei

Gezhouba Explosive Sichuan Blasting Engineering Co., Ltd. (Sichuan Chengdu, 610000)

[ABSTRACT] In large-diameter deep-hole water-bearing blasting, site mixed emulsion explosives bear the weight pressure and gravity of stuffing in large-diameter deep hole and the erosion from water, which is likely to cause changes of explosive performance. In order to analyze the influence of pressure and water on the emulsion explosive, a new compression test was proposed to study the variation law of detonation velocity in deep-hole explosion. Detonation velocity is high within 24 hours under the pressure of 0.1 and 0.2 MPa. With the increase of pressure and time, the velocity decreases until to failure of detonation. At the same time, the dissolution of NH_4NO_3 and the swelling thickness of the emulsion matrix were tested, and the effects of emulsifier, oil phase materials on the stability of site mixed emulsion explosive were analyzed. Results show that the dissolution and the swelling thickness are small when adding 1% base oil and Span80/EPE-1 at a mass ratio of 1:1. Water resistance has no change after more addition of EPE-1. Finally, the methods to improve water resistance were found.

[KEYWORDS] large-diameter deep-hole blasting; mixed emulsion explosive; compressive resistance; water resistance

引言

现场混装乳化炸药由于成本低、安全、高效,已在众多大型矿山推广应用,针对不同的装药环境,学者们对混装乳化炸药的主要性能进行了研究。黄铁飞^[1]、武海英^[2]等对混装乳化炸药不同乳化剂含量的影响进行了研究;叶海旺等^[3]对无水环境下多孔粒状混装铵油炸药爆破性能进行了研究;李晓虎

等^[4]将岩粉对混装乳化炸药性能影响进行了分析。但是,众多学者主要从炸药配方比例、外部掺杂物、混装乳化装药工艺等方面对混装炸药性能进行了大量研究,针对装药环境对混装炸药性能的影响研究较少。同时,在乳化炸药试验装置研究上,米希尔等^[5]设计的静压爆破装置加压系统较复杂,密封性不好;松本荣等^[6]设计的爆炸装置同样设计复杂,价格昂贵;刘磊等^[7]设计的抗压试验装置含有钢管、铁法兰,测试爆速时存在较大的安全风险。

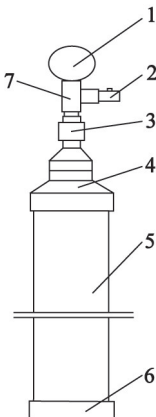
* 收稿日期:2016-12-02
作者简介:张建国(1967-),男,工程师,主要从事炸药性能研究。E-mail:782913192@qq.com

本文中,结合大孔径深孔含水爆破的实际情况,设计了新型抗压试验装置,对混装乳化炸药抗水性、抗压性进行了系统的研究;同时,对炸药配方及微量元素含量变化时的炸药性能进行了对比研究,分析了提高炸药性能的方法。

1 抗压性试验

1.1 试验装置

本试验装置借鉴国内外专家学者的设计思路。抗压试验装置主要由直径 110 mm、长 1 100 mm 的 PVC 管、PVC 封头、PVC 异径直通、带丝口的 PVC 三通、压力表、PVC 球阀、进气阀等组成;压力表、进气阀可重复使用,其他部件使用一次;装置 PVC 材料需抗压 1.0 MPa 以上,该装置材料来源广泛,结构简单,费用较低,抗压试验装置结构见图 1。试验配方见表 1 所示。



1 - 压力表;2 - 进气阀;3 - PVC 球阀;
4 - PVC 异径直通;5 - PVC 管;6 - PVC 封头;
7 - 带丝口的 PVC 三通。
图 1 抗压试验装置结构

Fig. 1 Structure of compression experiment device

1.2 试验过程

将安装好靶线的 PVC 管两头外侧、异径直通内壁和外壁、封头内侧、三通管内壁、外壁均用砂布打磨,使其表面粗糙,用湿抹布清理碎屑,分别用专用胶水将堵头与 PVC 管粘接,将异径直通、球阀、三通

管粘接,进气阀与三通管、压力表与三通管连接处采用生料带密封;靶线、脚线出入口密封好;PVC 管装满混装乳化炸药。爆速试样制作好后,将 PVC 管与异径直通粘接,连接气管,用气筒或试验室气泵加气打压,压力达到设定值,关闭球阀,卸下压力表及进气管件,连线测试爆速。

1.3 试验结果与分析

在大直径深孔中混装炸药装填完成后,底部炸药承受自重压力及回填压力,预装药爆破中,由于爆区面积较大,装药时间长,混装炸药在炮孔内静置时间较长,对炸药性能有一定影响;因此,对现有炸药配方进行抗压试验,寻找在不同压力作用、不同静置时间下,乳化炸药的性能的变化规律。

由图 2 可知,混装乳化炸药在不加压条件下,能够静置 5 d 以上,爆速稳定为 4 800 m/s;在 0.1、0.2 MPa 压力下,静置 2 h 和 24 h 后起爆,爆速均高于无压力起爆速度;在 0.3、0.4 MPa 压力下,静置 2 h 和 24 h 后,起爆爆速显著降低。说明在较小的压力范围内,有助于提高混装炸药性能,超过一个极限值,炸药性能降低。加压条件下,炸药爆速随静置时间增加而降低,且在 0.3 MPa 压力下,静置 120 h 后拒爆,在 0.4 MPa 压力下静置超过 24 h 拒爆;说明在加压条件下,混装炸药储存时间较短,在一定条件下会发生拒爆。

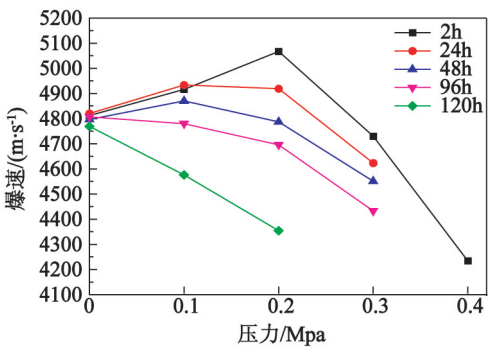


图 2 混装乳化炸药抗压性试验结果对比

Fig. 2 Comparison of compression test results for mixed emulsion explosive

深入分析发现,气泡敏化的混装乳化炸药在静压力作用下,部分气泡随着加压时间的延长逐步逸

表 1 混装乳化炸药基质配方(质量分数)
Tab. 1 Matrix formulation of emulsion explosive %

组分	硝酸铵	水	Span80	EPE-1	柴油	基础油
原配方	77 ~ 79	16 ~ 18	1.35 ~ 1.37	0	4.0 ~ 4.1	0
新配方	77 ~ 79	16 ~ 18	0.67 ~ 0.68	0.67 ~ 0.68	3.1 ~ 3.3	0.8 ~ 1.0

出,压力越大逸出越快,未逸出的气泡尺寸缩小;乳化炸药密度增大,大量气泡逸出,剩余气泡尺寸缩小是压死、拒爆的主要原因。露天深孔爆破通常采用岩粉回填,实践表明:非含水炮孔,回填的是干渣,由于干渣的组拱效应,回填压力很小,可忽略不计,药体承受的压力基本为上部药体自重压力;含水炮孔中回填渣被水浸润,特别是水量大的大孔径炮孔,回填渣具有较好的流散性和沉降性,回填压力较大。试验结果说明,该混装乳化炸药在干孔深孔爆破条件下,具备较长的预装药能力,根据自重压力推算,在大于 $\varnothing 200\text{ mm}$ 的大孔径、含水、孔深 17 m 的深孔爆破时,混装乳化炸药具备 4~5 d 的预装药能力。

2 抗水性试验

乳化炸药与水接触,存在溶失、溶胀现象,溶胀层越厚,破乳层越多,破乳会导致内相硝酸铵溶失在外界水中;破乳情况越严重,水中的硝酸铵含量(溶失值)越高。因此,可以通过测试溶胀厚度和溶失值判断乳化基质的抗水性能^[8-9]。

2.1 乳胶基质溶失值、溶胀厚度的测定

向 500 mL 烧杯中倒入 200 mL 左右的混装乳化炸药的乳胶基质,沿杯壁倒入 200 mL 水,静置,观察乳胶基质的表面溶胀情况并测定溶失值,测量溶胀厚度。乳胶基质溶失值用溶于外界水中硝酸铵的量占试样中硝酸铵量的比值来表示,外界水中硝酸铵的量参照 GB/T 3600—2000 中的甲醛法来测定。

2.2 试验结果与分析

以 Span80 乳化剂、EPE-1 高分子乳化剂以及添加一定量的基础油做对比试验,试验室制备的乳胶基质做比较分析。乳化剂总量占乳胶基质质量的 1.5%,分别选取 $w(\text{Span80}):w(\text{EPE-1})=1:0$ 、 $w(\text{Span80}):w(\text{EPE-1})=2:1$ 、 $w(\text{Span80}):w(\text{EPE-1})=1:1$ 、 $w(\text{Span80}):w(\text{EPE-1})=0:1$ 的乳化剂,分别比较不同 Span80、EPE-1 含量条件下乳胶基质的溶失值和不同 Span80、EPE-1 比例并添加基础油条件下乳胶基质的溶失值、溶胀厚度,以分析混合乳化剂比例及外部添加剂对乳胶基质溶失值的影响,结果如表 2~表 3 所示。

由表 2 可知,当乳化剂中只含有 Span80 时,溶失值较高,抗水性较差,乳化剂中 EPE-1 比例越大,溶失值越小,抗水性逐步增强,说明乳化剂中增大 EPE-1 的含量能有效地减小溶失值,增加抗水性;同时,溶失值随着时间的延长而增加,即随着放置时间的增加,抗水性减弱。在添加质量分数 1% 的基础油后,溶失值均有一定程度的减小,说明添加基础油能够有效增加乳胶基质抗水性。

由表 3 可知,添加基础油能明显减小溶胀厚度;同时,放置时间越长,其溶胀厚度越大。

深入分析发现,Span80 是一类有亲水基团和疏水基团的表面活性剂,吸附在油水界面的亲水基与水相形成弱的水合作用。由于油相中过量乳化剂的存在,界面上的乳化剂与油相内的乳化剂分子频繁互换位置,保持动态平衡,使外界水及内相无机电解

表 2 乳胶基质溶失值对比的测试结果
Tab. 2 Comparison of latex matrix dissolution

序号	$w(\text{Span80}):w(\text{EPE-1})$	4 d 溶失值/%		7 d 溶失值/%	
		不加基础油	1% 基础油	不加基础油	1% 基础油
1 [#]	1:0	1.532	0.871	2.339	1.692
2 [#]	2:1	0.069	0.051	0.120	0.086
3 [#]	1:1	0.057	0.040	0.096	0.060
4 [#]	0:1	0.045	0.033	0.063	0.053

表 3 乳胶基质溶胀厚度影响的对比测试结果
Tab. 3 Comparison of swelling thickness of latex matrix

序号	$w(\text{Span80}):w(\text{EPE-1})$	1 d 溶胀厚度/mm		4 d 溶胀厚度/mm		7 d 溶胀厚度/mm	
		不加基础油	1% 基础油	不加基础油	1% 基础油	不加基础油	1% 基础油
1 [#]	1:0	2	1~2	14~16	6~8	20~23	15~16
2 [#]	2:1	1	不明显	2	2	3~4	2~3
3 [#]	1:1	不明显	不明显	1	1	2	1
4 [#]	0:1	不明显	不明显	1	1	1~2	1

质进入油膜;由于内外相存在化学梯度,使外界水以一定的量不断进入油膜,无机电解质扩散进入外界,引起油膜溶胀、硝酸铵溶失。

高分子乳化剂 EPE-1 分子结构没有亲水基和亲油基之分,其分子两端是亲油的长链链段,由于没有亲水基,对水溶液不具有吸附作用,也就不存在渗透。因此,添加 EPE-1 改变了油膜结构,这也就是添加量越多,其抗水性越好的原因。在加 EPE-1 的基础上,添加烃链更长的基础油,能与柴油很好地复合,既可进一步增强油膜强度,提高油膜阻隔能力,减少界面渗透;同时又可提高胶体的黏度,提高固泡能力。

通过试验发现,EPE-1 具有极好的抗水性,综合分析试验结果的分析及成本,确定现场混装乳化炸药乳化剂采用 $w(\text{Span80}):w(\text{EPE-1})=1:1$,同时添加质量分数 1% 的基础油为最优方案。

3 露天矿山爆破应用

某铁矿 1 960 m 水平,台阶高度 15 m,爆破岩石为辉长岩,矿岩普氏硬度系数 $f=10\sim16$,抗压强度 100~170 MPa,孔网参数 9.0 m×5.0 m,三角形布孔,孔径 250 mm;超深 2 m 涉水爆区,孔数 32 个,孔内水深 3~7 m,单孔药量 450~600 kg,回填高度 6~8 m,底部炸药承压估算 1.5~2.0 MPa,现场混装乳化炸药选择原配方与新配方做对比爆破试验,炸药单耗一致,预装药时间 96 h,逐孔毫秒微差爆破。

爆后效果对比见图 3,爆区左侧为新配方生产的混装乳化炸药,右侧为原配方,效果对比明显。左侧爆堆前冲 17~18 m,后冲≤3 m,塌落高度 2 m;右侧前冲明显小于左侧,而且塌落不明显,右侧原配方爆堆难以挖装。

4 结论

- 1)混装乳化炸药具备一定的抗压性,在短期内,压力增大,爆速先上升再下降,压力达到 0.4 MPa,24 h 内出现拒爆;在一定压力下,随着时间的延长,爆速呈总体下降的趋势。在预装药爆破工程中,预装时间应充分考虑爆破环境及炸药的抗压性。
- 2)混装乳化炸药具备一定的抗水性,但存在着溶胀和溶失现象,时间越长,溶胀、溶失现象越严重;提高混装乳化炸药的抗水性,首要的是选择合适的乳化剂,其次是在油相中添加一定量的烃链更长的

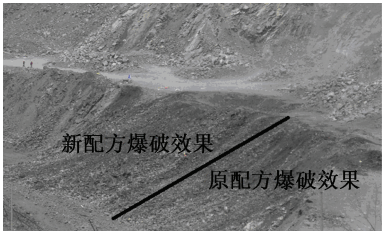


图 3 爆破效果对比
Fig. 3 Comparison of blasting effect

燃料。通常,高分子乳化剂价格较高,全部使用高分子乳化剂不经济,考虑成本因素,可适当添加一定比例的高分子乳化剂和烃链更长的油相材料,抗水稳定性也非常良好。

3)根据试验结果,新抗水抗压乳化炸药应用后,炸药单耗不变,爆破效果良好,但炸药成本稍高。从矿山生产效益考虑,预装药时间的提高,尤其在雨水季节,可显著降低爆破频次,减少钻、铲装、挖运作业时间,提高爆破作业效率,进一步降低爆破施工及矿山开采成本。

参 考 文 献

[1] 黄铁飞,荣光富,杨曙光,等. 乳化剂对混装乳化炸药质量性能的影响及实践应用[J]. 爆破器材,2010,39(2):14-16.
HUANG T F, RONG G F, YANG S G, et al. Effect of emulsifier on the quality performance of emulsion explosive and its practical application[J]. Explosive Materials, 2010,39(2):14-16.

[2] 武海英. 高分子乳化剂对现场混装乳化炸药稳定性的影响[D]. 北京:北京理工大学,2016:24-28.
WU H Y. Effects of polymer emulsifiers on stability of site-mixed emulsion explosives[D]. Beijing:Beijing Institute of Technology, 2016:24-28.

[3] 叶海旺,吴凯,王洋,等. 多孔粒状混装铵油炸药爆炸性能试验研究[J]. 爆破,2011,28(1):100-103.
YE H W, WU K, WANG Y, et al. Experiment reasearch on explosion performance of mixed ANFO explosive[J]. Blasting, 2011, 28(1):100-103.

[4] 李晓虎,彭立,王学进,等. 岩粉对混装乳化炸药性能影响的试验分析[J]. 爆破器材,2013,42(4):36-40.
LI X H, PENG L, WANG X J, et al. Experimental analysis on the performance of mixed emulsion explosive due to the addition of rock powder[J]. Explosive Materials, 2013,42(4):36-40.

