

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2022.04.020

混装乳化炸药在高寒高海拔地区的应用研究

齐红雪,刘大维,代泽军,李俊杰

(中国葛洲坝集团 易普力股份有限公司,重庆 400023)

摘要: 针对现场混装乳化炸药在高寒高海拔地区的使用情况和应用问题,特别是混装乳化基质使用储存期短、表面易结壳,储存安全风险大,以及混装乳化炸药现场敏化质量差,无效大气泡过多,炸药呈“豆腐渣”状态,为解决上述问题,从混装乳化基质水相配方设计、油相配方设计、现场敏化等方面进行工艺改进和优化,减少了采区重大危险源数量,提高了基质本质安全度,改善了基质储存稳定性和炸药敏化效果,同时不会对当前混装乳化炸药生产工艺、炸药性能和爆破效果产生不良影响,有效解决了混装乳化炸药在高寒高海拔环境下生产应用方面的技术难题。研究表明:乳化基质水含量从14%提高至17%,乳化基质自然储存期可由25 d提高到40 d,测得炸药孔外爆速3900~4000 m/s,与试验调整前爆速3700~4200 m/s水平相当,结合现场试验,爆破效果满足需求;通过调节水相配方中外加添加剂柠檬酸的含量、引入发泡促进剂E,控制最终炸药密度为1.15~1.20 g/cm³,炸药现场敏化质量显著提升;通过替换使用聚异丁烯丁二酸酐衍生物类EPE-3021型高分子乳化剂,乳化基质自然储存期显著提升,基质储存期由45 d提高到70 d后。

关键词: 混装乳化炸药; 配方设计; 现场敏化

中图分类号: TD235.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2022)04-0144-04

Application Study of Mixed Emulsion Explosive in Cold and High-altitude Area

QI Hong-xue, LIU Da-wei, DAI Ze-jun, LI Jun-jie

(Gezhouba Explosive Co., Ltd., Chongqing 400023, China)

Abstract: In view of the application situation and problems of mixed emulsion explosive in the cold and high-altitude area, especially the short storage period of the mixed emulsion matrix, easy crusting on the surface, high storage safety risks, poor on-site sensitization quality, too many invalid large bubbles, the state of "tofu dregs", and so on. In order to solve the problems above, the water-phase and oil-phase formula design and field sensitization are optimized, which reduces the number of major hazard sources in the mining area, improves the intrinsic safety of the matrix, improves the storage stability of the matrix and the sensitization effect of explosives. At the same time, it will not have a negative impact on the current production process, explosive performance and blasting effect of mixed emulsion explosives. These improvements can effectively solve the technical problems in the production and application of mixed emulsion explosives in cold and high altitude environment. The results show that when the water content of emulsion matrix increases from 14% to 17%, the natural storage period of emulsion matrix increases from 25 days to 40 days, and the detonation velocity is measured as 3900~4000 m/s which is at a comparable level with the test result of 3700~4200 m/s before any adjustment. The field tests indicate that the blasting effect has meet the demands. By adjusting the content of citric acid and introducing foaming promoter E in the water formula, the density of the explosive is finally controlled as 1.15~1.20 g/cm³. In addition, the field sensitizing quality of the explosive has been im-

收稿日期:2022-07-01

作者简介:齐红雪(1989-),女,工程师、硕士,主要从事民用爆炸物品生产方面的技术研究,(E-mail) qihongxue@foxmail.com。

proved obviously. The natural storage time of the emulsion matrix is significantly increased from 45 days to 70 days by using the polymer emulsifier EPE-3021.

Key words: mixed emulsion explosive; formulation design; field sensitization

西藏自治区墨竹工卡县巨龙铜业采区属于高寒高海拔地区,其海拔达到 5000 m 以上,常年低温,气压偏低。采区使用的现场混装乳化炸药生产技术为地面站静态制乳+现场混装炸药车敏化装药^[1,2],地面站制乳系统位于海拔 4372 m 的雪域高原上,生产出的乳化基质储存期短,仅 20 d 左右,表面易结壳,导致基质储罐及混装车清洗频次高,劳动强度大;基质配方的水含量低于 17%,基质储罐储存量大于 10 t,属于重大危险源,安全风险大;混装乳化炸药现场敏化质量差,无效大气泡过多,炸药呈“豆腐渣”状态。针对上述应用问题,通过详细的现场技术调研,从混装乳化基质水相配方设计、油相配方设计、现场敏化等工艺技术方面着手进行试验优化,解决混装乳化炸药在高寒高海拔环境下生产应用方面的技术难题。

1 水相配方设计

1.1 水相配方设计

当前使用的混装乳化基质含水量仅 14%,为降低基质储存的安全风险,减少采区重大危险源数量,为此试验仅改变水相配方中硝酸铵与水的比例,其他水相组分不变,水、油相比不变,使得基质配方含水量达到 17%。根据以前的研究结果和实践经验,提高基质配方含水量(也就是较低的硝酸铵浓度)可以降低水相析晶点,有利于基质储存稳定性^[3]。

试验配方按地面站现执行的生产工艺进行线上生产试验。进行线上生产试验前需进行实验室小试,通过实验室小试判断基质乳化情况,确定水相密度、水相析晶点等工艺参数。线上主要生产工艺参数见表 1,试验调整前后基质各生产工艺参数无明显变化,基质乳化状态良好,新生产的乳化基质表面均光亮有光泽,状态良好。

1.2 混装乳化炸药性能测试试验

新生产的试验基质和原配方基质分别用透明塑料杯取样,在当地高寒高海拔环境条件下自然敞口储存,跟踪观察两个基质储存状态,对比发现:原配方基质储存 20 d 后表面出现析晶,25 d 后基质内部出现析晶;试验基质储存 35 d 后表面出现析晶,40 d 后基质内部出现少量析晶。对比结果表明调整水相配方后基质储存稳定性有所提高。

表 1 地面站主要生产工艺参数

Table 1 Main production process parameters of ground station

工艺参数	原配方	试验配方
产能/(t·h ⁻¹)	12.00	12.00
水相温度/℃	88.70	93.20
水相密度/(g·cm ⁻³)	1.39	1.36
水相/pH	4.00	4.00
水相析晶点/℃	66.00	63.00
油相温度/℃	17.50	16.50
预乳器转速/rpm	605.00	605.00
预乳器液位/cm	42.00	42.00
基质泵压力/MPa	1.12	1.13
基质泵温度/℃	83.00	86.00
精乳器出口压力/MPa	0.38	0.38
压力降/MPa	0.74	0.75

试验基质装入现场混装炸药车运输到爆破现场,在采区北露天海拔 5340 ~ 5240 m、驱龙矿区海拔 5440 ~ 5320 m 范围内的多个平台进行多次爆破试验。用爆速仪测炸药样品的孔外爆速,爆速 3900 ~ 4000 m/s 与试验调整前爆速 3700 ~ 4200 m/s 相当,未有下降。经炮堆勘验和挖装反馈爆破效果良好,无根底、无大块,岩石块度均匀,见图 1,炸药性能满足爆破要求。



图 1 在北露天 5312 平台爆破效果

Fig. 1 Blasting effect on 5312 platform in North Open pit area

2 改善敏化效果

经现场调研发现:混装乳化炸药采用化学敏化,敏化剂为 25% 浓度的亚硝酸钠水溶液,敏化速度非

常快,5 min 内完成敏化,敏化质量很差,炸药内部大气泡非常多,呈现“豆腐渣”状态,同时炸药密度控制范围过大,达到 $1.05 \sim 1.25 \text{ g/cm}^3$,炸药质量控制较差^[4-5]。分析认为:主要是水相 pH 太低,敏化反应促进条件太强^[6],导致炸药内大量气泡提前生成,经过后面设备输送、泵送等破坏,导致大气泡聚集或逃逸,使得炸药呈现“豆腐渣”状态。

为此在试验 1 的基础上将水相配方中外加添加剂柠檬酸含量调低,减弱敏化促进条件,使得水相 pH 变高,水相 pH 由原来的 3.8~4.0 调整到 4.2~4.5,以实现减弱敏化促进条件,降低敏化速度;同时水相中外加基水相重量 0.15% 的发泡促进剂 $E^{[7]}$,这是一种缓冲剂,可降低高温基质敏化速度和提高低温基质敏化速度,有利于适应当地多变的气候条件。

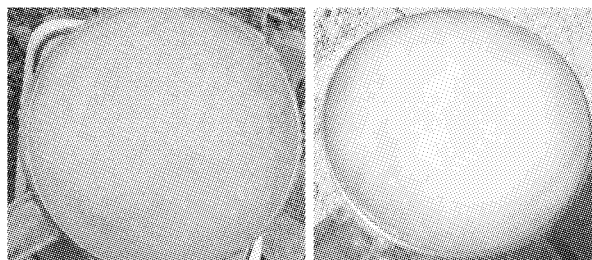
先进行实验室小试敏化对比试验,敏化剂添加量均为基质质量 0.3%,外部环境 8℃ 以下,敏化效果见表 2。试验发现调整后的炸药敏化速度明显放慢,敏化质量得到改善,炸药内部大气泡减少,小气泡增多。原配方乳化基质的最低敏化温度为 60℃,试验基质的最低敏化温度可降低到 40℃,这更能满足现场某些特殊条件,如基质长时间未用、天气过于寒冷等导致基质温度过低。

表 2 敏化效果对比

Table 2 Comparison of sensitization effect

乳化基质	敏化温度/℃	炸药密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)			
		5 min	10 min	30 min	1 h
原配方基质	65~75	1.17	1.11	1.08	1.06
原配方基质	60~65	1.27	1.25	1.23	1.23
试验基质	65~75	1.23	1.15	1.12	1.10
试验基质	55~65	1.25	1.19	1.15	1.13
试验基质	40~55	1.27	1.23	1.20	1.20

在北露天 5340~5310 多个平台试用,用密度杯接取输药管口炸药,每 5 min 测量一下炸药密度,发现:炸药从输药管口出来后才开始快速敏化,炸药敏化速度明显放慢,敏化时间由原来的 5 min 控制到 10 min,孔口炸药密度基本保持在 $1.15 \sim 1.20 \text{ g/cm}^3$ 范围内,炸药内部大气泡显著减少,小气泡增多,敏化质量改善明显,敏化效果见图 2。用皮尺测量炮孔内炸药装药高度,发现相同孔径时试验炸药的装药高度要高 20~30 cm,也就是炸药线装药密度有所下降,这是因为炮孔内炸药在承压状态下内部大气泡容易被挤压出炸药,导致孔内炸药密度增大,体积变小。经后期炮堆勘验和挖装反馈试验炸药的爆破效果良好,炸药性能满足爆破要求。



原配方

试验配方

图 2 现场敏化效果对比

Fig. 2 Comparison of field sensitization effect

3 油相配方设计

3.1 油相配方设计

水相配方调整后混装乳化基质储存稳定性虽有提高,但仍需进一步提高基质储存稳定性,减少基质储罐及混装车清洗频次,为此试验将油相配方中乳化剂 EPE-2 替换为聚异丁烯丁二酸酐衍生物类高分子乳化剂 EPE-3021^[8-11]。因为 EPE-2 乳化剂含有一定比例的较短的油溶结构,会使得乳化基质油包水结构的稳定性相对较差,使得基质较容易出现析晶破裂,对基质储存稳定性不利,再加上高海拔地区的多变气候,基质的储存稳定性更差。而聚异丁烯丁二酸酐衍生物类高分子乳化剂 EPE-3021 是中国葛洲坝集团易普力股份有限公司自主研发的科研产品,其所制备的乳化基质储存、抗水、抗颠簸、耐泵送性能优异,能完全替代 NB2424、EPE-2 等高分子乳化剂用于金奥博静态乳化工艺,且已在多个生产线成功使用。

在试验 1 和 2 的基础上进行本次试验,替换油相配方乳化剂材料,其他油相组分不变,水、油相配比不变,试验配方按地面站现执行的生产工艺进行线上生产试验。

进行线上生产试验前需进行实验室小试,通过实验室小试判断基质乳化情况和敏化速度,确定油相密度等工艺参数,实验室小试结果表明乳化剂替换对基质乳化状态和敏化速度基本无影响。实验室小试无问题后进行线上小试试验,线上主要生产工艺参数见表 3,线上试验结果表明:乳化剂替换对基质各主要生产工艺参数无明显影响,基质乳化状态良好,新生产的乳化基质表面光亮有光泽,状态良好。

3.2 混装乳化炸药性能测试试验

新生产的试验基质和原配方基质分别用透明塑料杯取样,在当地高寒高海拔环境条件下自然敞口储存,跟踪观察两个基质储存状态。对比发现:原配方基质储存 40 d 后表面出现析晶,45 d 后基质内部出现析晶;试验配方基质储存 60 d 后表面出现析晶,

70 d 后基质内部出现少量析晶。对比结果表明调整油相配方后基质储存稳定性进一步提高。

表 3 地面站主要生产工艺参数
Table 3 Main production process parameters
of ground station

参数	原配方	试验配方
产能/(t·h ⁻¹)	13.50	13.50
水相温度/℃	87.90	84.10
水相密度/(g·cm ⁻³)	1.37	1.37
油相温度/℃	15.10	16.00
油相密度/(g·cm ⁻³)	0.862	0.849
预乳器转速/rpm	605.00	605.00
预乳器液位/mm	419.00	411.00
基质泵压力/MPa	1.26	1.30
基质泵温度/℃	83.90	82.50
精乳器出口压力/MPa	0.41	0.43
压力降/MPa	0.85	0.87

试验基质在采区北露天 5230 ~ 5370 范围内的多个平台进行试用,用密度杯接取输药管口炸药,每 5 min 测量下炸药密度,发现敏化时间 8 ~ 10 min,孔口炸药密度基本保持在 1.15 ~ 1.20 g/cm³ 范围内,敏化质量无明显差异。用爆速仪测炸药样品的孔外爆速,爆速 3700 ~ 3900 m/s 与试验调整前数值相当。经炮堆勘验和挖装反馈爆破效果良好,见图 3,炸药性能满足爆破要求。



图 3 在北露天 5300 平台爆破效果

Fig. 3 Blasting effect on 5300 platform in North Open pit area

4 结论

通过调研现场混装乳化炸药在高寒高海拔地区的使用情况,从实际应用问题出发,着手一一解决各项问题,同时不会对当前混装乳化炸药生产工艺、炸药性能和爆破效果产生不良影响:

(1)通过水相配方设计,将基质配方含水量提高至 17%,减少采区重大危险源数量,提高基质本质安全度,同时还可改善基质储存稳定性。

(2)通过调整敏化促进条件,向水相中外加添

加剂,改善炸药敏化效果,便于控制炸药密度,减少炸药使用量。

(3)通过油相配方设计,使用新型高分子乳化剂材料,进一步改善基质储存稳定性,减少基质储罐及混装车清洗频次。

参考文献 (References)

[1] 夏 光. 工业炸药现场混装技术的应用与发展趋势[J]. 煤矿爆破,2019,37(1):27-30.

[1] XIA Guang. Application and development trend of on-site mixing technology for industrial explosives[J]. Coal Mine Blasting,2019,37(1):27-30. (in Chinese)

[2] 胡幼华. 乳化炸药现场混装技术的研究进展[J]. 化工管理,2021(19):96-97.

[2] HU You-hua. Development of in-situ mixed loading technology of emulsion explosive[J]. Chemical Management, 2021(19):96-97. (in Chinese)

[3] 黄文忠,陈江涛. 水相析晶点对乳化炸药稳定性的影响[J]. 江西煤炭科技,2010(3):81-82.

[3] HUANG Wen-zhong, CHEN Jiang-tao. Effect of crystallization point of aqueous phase on stability of emulsion explosive [J]. Jiangxi Coal Science and Technology, 2010(3):81-82. (in Chinese)

[4] 刘宇星. 乳化炸药敏化方式探讨[J]. 采矿技术,2012(1):95-97,99.

[4] LIU Yu-xing. Discussion on sensitizing mode of emulsion explosive[J]. Mining Technology, 2012(1):95-97,99. (in Chinese)

[5] 肖建国,姚方明,刘 深,等. 现场混装乳化炸药在炸礁工程中敏化技术研究[J]. 中国港湾建设,2020,40(6):34-38.

[5] XIAO Jian-guo, YAO Fang-ming, LIU Shen, et al. Study on sensitization technology of in-situ mixed emulsion explosive in reef blasting engineering [J]. China Harbor Construction,2020,40(6):34-38. (in Chinese)

[6] 刘震宇,谢 强,刘 威,等. 乳化炸药中硝酸铵-亚硝酸钠的发泡动力学研究[J]. 爆破器材,2020,49(3):10-15.

[6] LIU Zhen-yu, XIE Qiang, LIU Wei, et al. Foaming kinetics of ammonium nitrate-sodium nitrite in emulsion explosives [J]. Demolition Equipment, 2020, 49(3):10-15. (in Chinese)

[7] 张家田,高锡敏,黄胜松. 混装乳化炸药敏化助剂对爆破效果的影响研究[J]. 采矿技术,2020,20(5):161-166.

[7] ZHANG Jia-tian, GAO Xi-min, HUANG Sheng-song. Study on the effect of sensitizing aids of mixed emulsion explosive on blasting effect[J]. Mining Technology, 2020,20(5):161-166. (in Chinese)