

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2022.01.008

废机油在现场混装乳化炸药中的资源化应用研究^{*}

常 剑^① 樊保龙^{①②} 余德运^① 谢 烽^①
①北方爆破科技有限公司(北京,100089)
②安徽江南化工股份有限公司(安徽合肥,230088)

[摘 要] 为了实现废机油在现场混装乳化炸药中的资源化应用,优化某国外特大型矿山乳化炸药的成本结构,制备了废机油型乳化炸药,并从储存期、泵送、抗颠簸、爆速、殉爆距离及爆破块度分析等方面进行了基础性研究。结果表明:该废机油型乳化炸药具有良好的储存稳定性;符合泵送和长距离运输要求;爆速可以到达 4 800 m/s 以上;殉爆距离为 15 cm;且矿山爆破效果良好,爆破后块度满足挖运要求。每吨乳化炸药油相成本可以节约 23.32 美元,具有一定的经济效益。

[关键词] 乳化炸药;油相;废机油;高分子乳化剂;爆速

[分类号] TQ560; TD235.2⁺¹

Resource Application of Waste Engine Oil in Field Mixed Emulsified Explosives

CHANG Jian^①, FAN Baolong^{①②}, YU Deyun^①, XIE Feng^①
① North Blasting Technology Co., Ltd. (Beijing, 100089)
② Anhui Jiangnan Chemical Industry Co., Ltd. (Anhui Hefei, 230088)

[ABSTRACT] In order to realize the resource application of waste engine oil in field mixed emulsified explosives, cost structure of emulsified explosives used in a super large mine aboard was optimized, and emulsion explosive containing waste engine oil was prepared. Basic research was carried out from the aspects of storage period, pumping, anti-bumping, detonation velocity, burst distance and fragmentation analysis. Results show that the emulsion explosive containing waste engine oil has good storage stability, meets the requirements of pumping and long-distance transportation, its detonation velocity can reach more than 4 800 m/s, and the burst distance is 15 cm. Blasting outcome is good, and fragmentation after blasting meets the requirements of excavation. The cost of oil phase per ton of emulsion explosive can be saved by 23.32 dollars, which has some economic benefits.

[KEYWORDS] emulsion explosive; oil phase; waste engine oil; polymer emulsifier; detonation velocity

引言

乳化炸药是一种用乳化技术制备的油包水型浆状工业炸药,具有工艺简单、抗水性能好、爆炸性能优良、感度可控等诸多优点,在工程上具有重要的应用价值^[1-2]。废机油一般是指机油在使用过程中掺杂了灰尘、金属杂质、其他油类、水分等,或因机油发生变质,内部产生了胶质、有机酸等物质,颜色变黑、黏度增大。我国每年有几千万吨的废机油产生并急需处理,常用的废机油处理方法主要有 3 类:直接当作燃料使用;作为一种防水涂料应用于建筑行业;对

废机油进行可再生处理。3 种方法行之有效,但仍无法完全消化每年不断淘汰的如此庞大的废机油。近些年来,国内外开始使用废机油生产乳化炸药及铵油炸药^[3-6],在爆破工程中取得了不错的效果,是废机油资源化再利用的一种新的途径,值得推广。

本研究中,针对的是国外某特大型矿山废机油的处理和资源化再利用的问题。该矿山每年淘汰废机油 800 t 左右、爆破使用乳化炸药 9 000 t。将矿山淘汰的废机油进行处理,再应用于生产乳化炸药,不但可以减少废机油对当地环境的污染,还可以实现废机油的再次利用,并减少乳化炸药的生产成本。在前人相关研究的基础上^[7],利用处理后的废机油

^{*} 收稿日期:2021-09-15
第一作者:常剑(1991-),男,工程师,主要从事工业炸药方面的研究。E-mail:516288633@qq.com

制备一种废机油型乳化炸药,并通过一系列基础性试验研究,使该废机油型乳化炸药成本得到优化、性能得到提升,更有利于乳化炸药在爆破工程服务中的应用。

1 试验样品制备

1.1 材料与设备

材料:工业硝酸铵,南非 AEL 矿业服务公司;硝酸钠,智利 SQM 公司;亚硝酸钠,德国 BASF 公司;磷酸,防城港南磷磷化工有限公司;乳化剂 Span80,辽宁红山化工股份有限公司;乳化剂 Arkomon V 1029,南非 AECI 矿业化学材料公司;柴油,纳米比亚 Engen 有限责任公司。

设备:黏度仪,NDJ-5S,邦西仪器科技有限公司;恒温箱,101-1,明途机械设备有限公司;电导率测试仪,DDS-11A,上海越平有限公司;爆速仪,VOD 815,美国 MREL 集团有限公司。

1.2 废机油的选择

选用的废机油由 Walvis 工程服务有限公司进行回收处理。该废机油中掺杂了灰尘、水分、机械杂质以及液压油、煤油、刹车油和防火油等杂油,颜色呈深黑色。这些杂质中,机械杂质通常为形状尖锐的金属碎末;而杂油中的油类通常含有腐蚀抑制剂、耐磨添加剂和水包油型乳化剂等成分,均不利于乳胶基质的成乳和稳定。经过处理后,废机油在白色滤纸上无肉眼可见机械杂质,内部杂油尽可能降低和去除,废机油总热值为 39.9 MJ/kg 。

1.3 乳化剂的选择

乳化剂是乳胶基质生产过程中成乳和稳定储存的重要因素。使用失水山梨糖醇脂肪酸酯乳化剂,即 Span80 低分子乳化剂;同时,根据现场情况,选择 Arkomon V 1029 高分子乳化剂来做性能的对比。Arkomon V 1029 乳化剂为聚异丁烯丁二酸衍生物类乳化剂。两种乳化剂的分子结构如图 1 所示。

由图 1 可以看出, Arkomon V 1029 乳化剂与 Span80 乳化剂相比, 本身为长链高分子结构, 对油相分子具有较强的吸附能力, 可以使油相分子紧密连接, 形成强度较高的油膜; 同时, 由于衍生官能团和长链烷基的存在, 相互键合组装, 可以对乳胶基质中的水相分子起到立体保护的作用, 进而提升乳胶基质整体的稳定性。

满足乳化炸药生产要求的乳化剂亲水亲油平衡 (HLB) 值范围为 3 ~ 6, Span80 乳化剂的 HLB 值为 4.3, Arkomon V 1029 乳化剂的 HLB 值为 3.8, 在要求范围内。HLB 值越低, 乳胶基质稳定性越高^[1]。所以, Arkomon V 1029 乳化剂相对 Span80 乳化剂具有更高的稳定性。将两种乳化剂按一定比例复配, 性能也会优于低分子乳化剂。

1.4 乳化炸药配方的设计

利用3组相互对照试验来分析废机油在乳化炸药生产中的应用效果。乳胶基质配方(质量分数)为水相94%、油相6%。水相(质量分数)包括硝酸铵70.5%、硝酸钠4.7%、水18.7%、磷酸0.1%。油相配方(质量分数)设计如下:

- 1) 1[#]油相: Span80 乳化剂 0.9%、柴油 5.1% ;
2) 2[#]油相: Span80 乳化剂 0.9%、柴油 0.9%、
废机油 4.2% ;
3) 3[#]油相: Span80 乳化剂 0.6%、Arkomon V
1029 乳化剂 0.3%、柴油 0.9%、废机油 4.2% 。

以上3组配方中,通过1[#]和2[#]油相制备1[#]和2[#]乳胶基质,判断在使用低分子乳化剂 Span80 的情况下,废机油对乳胶基质性能的影响;利用2[#]和3[#]油相制备2[#]和3[#]乳胶基质,可以判断乳化剂分子量的高低对废机油型乳化炸药性能的影响。

1.5 乳化炸药的制备

乳胶基质制备:采用高温制乳工艺,控制水相温度为80℃、油相温度为30℃。通过水相泵和油相泵分别将计量后的水相和油相泵送至乳化器,乳化器的转速为1200 r/min,温度为80℃。在螺杆泵

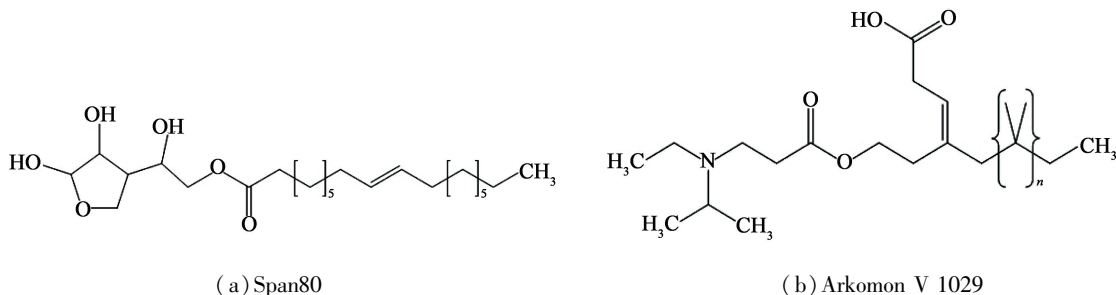


图1 Span80 乳化剂与 Arkomon V 1029 乳化剂的分子结构

Fig. 1 Molecular structure of Span80 and Arkomon V 1029

取样口处取出乳胶基质进行相关试验性能分析。

乳化炸药制备:对乳胶基质进行敏化,敏化剂选用亚硝酸钠与水,两组分质量比为 1∶3。敏化剂的加入量(质量分数)为 0.1%。敏化温度控制在 40℃左右。

2 乳化炸药性能试验

2.1 乳胶基质的密度及黏度

对 3 种乳胶基质进行敏化前和敏化后 0.5 h 的密度测试以及 25℃时的黏度测试,测试结果如表 1 所示。

表 1 乳胶基质敏化前、后的密度及黏度

Tab. 1 Density and viscosity of emulsion matrix before and after sensitization

乳胶基质	密度/(g·cm ⁻³)		黏度(25℃)/ (Pa·s)
	敏化前	敏化 0.5 h	
1 [#]	1.35	1.10	66.4
2 [#]	1.35	1.11	90.0
3 [#]	1.35	1.10	87.6

通过表 1 可以看出:3 种乳胶基质在敏化前、后均符合乳胶基质的密度要求;同时,敏化后的密度可以达到 1.10 g/cm³,符合现场混装乳化炸药装药密度的要求。由于废机油的大量加入,2[#]和 3[#]乳胶基质的黏度明显增大,在冷却到 25℃时,黏度为 87~90 Pa·s,低于乳胶基质泵送上限 100 Pa·s 的要求^[8-9]。受当地天气影响,现场混装乳化炸药装药温度通常在 40~50℃左右。使用 PVC 管进行乳胶基质下落观察,2[#]、3[#]乳胶基质整体下滑,不存在炸药下落不连续的情况,符合现场装药黏度的要求。

2.2 乳胶基质的储存期试验

对 3 种乳胶基质进行高低温循环试验^[10]。取 3 只 600 mL 塑料杯,分别放入 3 种乳胶基质 400 g,并用原装杯盖进行封盖。将其在 50℃的恒温箱中高温放置 8 h 后取出,立即放入-14℃的冰柜中进行低温保存 16 h,以此为 1 次高低温变化循环。

取每种乳胶基质在 10 次以内的偶数次循环后的样品,通过甲醛法进行抗水性测定^[11]。每次测试时,提取塑料杯中部乳胶基质 20 g,加入到 180 mL 的水中,并控制浸泡温度为 20℃,进而测定游离硝酸铵质量。测试结果如表 2 所示。由表 2 可以看出,3 种乳胶基质中,3[#]乳胶基质高低温循环次数最高,且随着循环次数的增加,游离硝酸铵的质量并没有较明显的变化。

表 2 乳胶基质高低温循环试验测试结果

Tab. 2 Test results of high and low temperature cycling test of emulsion matrix

乳胶基质	高低温循环次数	偶数次循环后的游离硝酸铵/g				
		第 2 次	第 4 次	第 6 次	第 8 次	第 10 次
1 [#]	12	0.011	0.012	0.012	0.064	
2 [#]	10	0.011	0.012	0.014	0.102	
3 [#]	14	0.011	0.012	0.013	0.022	0.031

高低温循环次数与乳胶基质电导率的关系如图 2 所示。

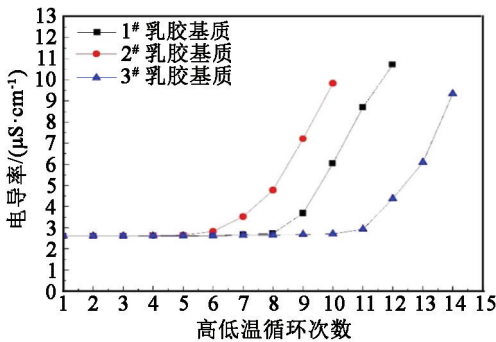


图 2 高低温循环后乳胶基质的电导率

Fig. 2 Conductivity of emulsion matrix after high and low temperature cycling

在每次高低温循环后,取乳胶基质 5 g 放置于 100 mL 的烧杯中,静置 2 h 后取出,对烧杯中剩余的水进行电导率测定。表 3 为乳胶基质在不同循环次数后的电导率测定结果。所使用水的初始电导率为 2.6 μS/cm,表 3 中的电导率为与水初始电导率的差值。由表 3 可以看出,3[#]乳胶基质在 10 次循环之内,电导率均不超过 0.1 μS/cm,电导率较低,说明

表 3 不同循环次数后乳胶基质的电导率测试结果

Tab. 3 Conductivity of emulsion matrix after different cycles

乳胶基质	高低温循环次数													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1 [#]	0	0	0.01	0.02	0.02	0.02	0.07	0.12	1.08	3.44	6.10	8.11		
2 [#]	0	0	0.01	0.02	0.05	0.22	0.92	2.17	4.61	7.23				
3 [#]	0	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.08	0.10	0.33	1.77	3.49	6.74

3#乳胶基质具有较高的稳定性;2#乳胶基质在第 6 次高低温循环后,游离硝酸铵质量和电导率明显增加,说明乳胶基质相对不稳定,硝酸铵晶体析出较快,导致大幅度破乳现象出现;1#乳胶基质在第 8 次高低温循环后开始出现析晶,稳定性较为一般。

分析原因:废机油虽然已经经过处理,但内部仍然会残留部分杂质;2#乳胶基质使用的 Span80 乳化剂为低分子乳化剂,所形成的油包水型界面膜强度不高,废机油杂质会对其造成影响,降低其稳定性;3#乳胶基质所使用的高分子乳化剂本身具有长链大分子结构,与 Span80 乳化剂复配后,可以增强乳化剂的键合结构,进而增强了界面膜的强度,使得水相和油相能够紧密相连,提高了乳胶基质的稳定性。同时,高分子乳化剂具有更多的亲水基团,亲水亲油比例更加协调,进而提高了乳化能力。

2.3 乳胶基质泵送试验和抗颠簸试验

泵送试验可以对乳胶基质在生产和装药过程中的稳定性进行判断^[12]。分别对 3 种乳胶基质进行 4 次泵送试验。选用混装乳化炸药车进行泵送,泵送乳胶基质质量为 50 kg,泵送速率为 230 kg/min,泵送压力为 0.6 MPa。每一次泵送后,均对乳胶基质进行水溶性测试,试验结果如表 4 所示。

通过泵送试验可知:1#和 3#乳胶基质外观无变化,没有破乳和析晶现象;2#乳胶基质在第 3 次泵送后内部出现析晶颗粒。同时,根据游离硝酸铵测试结果可以看出,第 3 次泵送时,3#乳胶基质的游离硝酸铵质量仍然较低,说明其稳定性较高,符合泵送要求。

抗颠簸试验可以对乳胶基质在长距离运输情况

下的稳定性进行判断。对 3 种乳胶基质进行抗颠簸试验,选用混装乳化炸药车进行长距离运送,运送乳胶基质质量为 50 kg。对不同运输距离后的乳胶基质进行水溶性测试,试验结果如表 5 所示。

通过抗颠簸试验可以看出:3#乳胶基质抗颠簸性能相对较好,运送距离达到 500 km 时,游离硝酸铵质量无明显变化;2#乳胶基质在 400 km 时出现析晶颗粒,游离硝酸铵质量升高;1#乳胶基质在 500 km 时虽然表面没有明显析晶,但游离硝酸铵质量相对 3#乳胶基质升高较快。说明 3#更为稳定,更适合长距离运输。

分析原因为:在运动的情况下,乳胶基质中的油包水型界面膜强度不高时,废机油杂质会对内部晶体结构造成破坏,使其出现析晶,如 2#乳胶基质;使用高低分子乳化剂复配后,界面膜的强度大大增强,可以抵制住废机油杂质的破坏,进而提高乳胶基质的稳定性。

2.4 乳化炸药的爆速及殉爆距离测试

对 3 种乳胶基质制备的乳化炸药(编号与乳胶基质一一对应)进行爆速及殉爆距离的测试。采用 VOD 爆速仪测试爆速。殉爆距离测试方法:将乳化炸药制作成长度为 150 mm、直径为 35 mm 的两个药卷,一个作为主发药卷,另一个作为被发药卷;将两个药卷绑在内径为 35 mm 的半圆形 PVC 管内,使得两个药卷的轴线在一条水平直线上;将电雷管插入主发药卷的外端,在保证周围一切安全的情况下进行殉爆试验。测试结果如表 6 所示。

由表6可以看出:3#乳化炸药的爆速相对较高,可以达到4 800 m/s 以上;同时,3种乳化炸药爆速

表 4 乳胶基质泵送试验测试结果

Tab.4 Pumping test results of emulsion matrix

乳胶基质	泵送 1 次		泵送 2 次		泵送 3 次	
	外观	游离硝酸铵/g	外观	游离硝酸铵/g	外观	游离硝酸铵/g
1#	良好	0.013	良好	0.014	良好	0.016
2#	良好	0.013	良好	0.016	有析晶	0.028
3#	良好	0.012	良好	0.013	良好	0.013

表 5 乳胶基质抗颠簸试验测试结果

Tab.5 Anti bumping test results of emulsion matrix

乳胶基质	200 km		300 km		400 km		500 km	
	外观	游离硝酸铵/g	外观	游离硝酸铵/g	外观	游离硝酸铵/g	外观	游离硝酸铵/g
1#	良好	0.013	良好	0.014	良好	0.016	良好	0.019
2#	良好	0.014	良好	0.016	有析晶	0.022	有析晶	0.041
3#	良好	0.011	良好	0.011	良好	0.012	良好	0.013

表 6 乳化炸药爆速和殉爆距离测试结果
Tab.6 Detonation velocity and burst distance of emulsion explosive

乳化炸药	爆速/(m·s ⁻¹)	殉爆距离/cm
1 [#]	4 497	14
2 [#]	4 624	14
3 [#]	4 801	15

均超过 4 200 m/s,满足乳化炸药爆速标准^[13]。3[#]乳化炸药殉爆距离可以提高 1 cm,但相对变化并不明显。说明废机油的加入可以在一定程度上提升爆速;高分子乳化剂的使用可以明显增加爆速,对殉爆距离并无较大影响。

分析原因为废机油与柴油组成的复合油相具有较高的黏度,在 高分子乳化剂的作用下^[14],3[#]乳胶基质内部形成了高强度的界面膜,油相黏度的提高和界面膜强度的增大可以固定乳化炸药中的敏化气泡,并控制气泡的扩大,使气泡的大小处在更合理的范围内。根据热点理论,炸药爆速会有所提升,也有利于爆轰波的激发和传播。

3 工程应用

3.1 现场应用方案

根据国外某特大型矿山地质条件,为了更好地验证废机油型乳化炸药的现场使用效果,现将 3[#]乳化炸药与该矿山原有乳化炸药进行炮区爆破对比试验。原有乳化炸药配方(质量分数)为水相 94%、油相 6%(Span80 乳化剂 1.8%、柴油 4.2%),材料及比例与试验配方一致。炮区岩石构成主要为花岗岩。设计方案为:将炮区分为两部分,分别使用 3[#]乳化炸药和原有乳化炸药进行装药。爆区台阶高度 7.5 m,超深 1.5 m,炮孔孔径为 165 mm、孔距 5.0 m、排距 5.0 m,单孔装药量为 140 kg。

3.2 应用结果分析

两种乳化炸药均可以满足爆破需求,爆破后爆堆松散,高度较低,表面仅有少量大块出现,符合挖运要求。其中,3[#]乳化炸药爆破效果相对较好。

分析爆破区域在开采后的每一层开挖面的块度。其中,第 3 层开挖面块度如图 3 所示;爆破后岩石的块度分布情况如表 7 所示。

从图 3 可以看出,3[#]乳化炸药爆破后,岩石块度整体均匀,爆破效果良好。从表 7 可以看出:两种乳化炸药爆破后的岩石块度级配情况均符合矿山铲装要求;其中,3[#]乳化炸药在爆破后没有出现直径 1.2

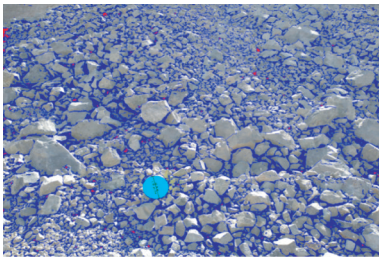


图 3 3[#]乳化炸药爆破后第 3 层开挖面块度图

Fig.3 Fragmentation of the third layer excavation surface after the explosion of 3[#] emulsion explosive

表 7 爆破后的岩石块度分布

Tab.7 Fragmentation distribution of rock blocks

after blasting		%
乳化炸药	d≤1.2 m	d≤1.0 m
原有	99.07	97.25
3 [#]	100.00	99.53
d≤0.6 m	d≤0.5 m	d≤0.4 m
90.97	77.15	53.63
93.10	88.97	82.28

m 以上的大块,直径 1.0 m 以上大块占比也明显优于原有乳化炸药。爆破现场测试的 3[#]乳化炸药孔内爆速为 4 867m/s,原有乳化炸药孔内爆速为 4 231 m/s,3[#]乳化炸药的爆速提高明显;说明使用 3[#]乳化炸药更有利于降低乳化炸药用药量,进而降低炸药使用成本。

3.3 工程应用意义

对以上两种乳化炸药的单吨油相成本进行分析,如表 8 所示。根据该矿山 2021 年原材料采购价格计算,Span80 乳化剂采购价为 2 039.35 美元/t, Arkomon V 1029 乳化剂采购价为 3 354.94 美元/t,柴油采购价为 744.91 美元/t,废机油采购价为 373.06美元/t。综合分析两种乳化炸药的成本和性能,相比原有乳化炸药,3[#]乳化炸药单吨油相成本降低了 23.32 美元,以该矿山年用乳化炸药 9 000 t 计算,预计年度成本节约近 21 万美元,具有一定的经济效益,可以达到降本增效的效果。

表 8 乳化炸药油相成本

Tab.8 Cost of oil phase of emulsion explosive

乳化炸药	Span80	Arkomon V 1029	柴油	废机油	乳胶基质油相
原有	36.71	0	31.29	0	67.99
3 [#]	12.24	10.06	6.7	15.67	44.67

根据该矿山每年约 800 t 的废机油淘汰量,以目

前 9 000 t/a 的乳化炸药使用量计算,使用 3[#]乳化炸药每年可以处理掉约 400 t 废机油。随着今后矿山的不断开采,乳化炸药使用量势必逐年增加,进而可以通过生产乳化炸药对更多的废机油进行处理,一定程度上可以减少对当地环境的污染。

4 结 论

- 1)通过废机油大量取代柴油,进而制备了废机油型乳化炸药。该乳化炸药具有良好的储存稳定性,且符合乳胶基质泵送和长距离运输要求,爆速可以达到 4 800 m/s,殉爆距离为 15 cm,完全可以满足乳化炸药使用和储存的要求。
- 2)在爆破工程应用中,该废机油型乳化炸药爆破效果良好,爆破后的岩石块度均匀,满足矿山挖运要求。与该矿山原有乳化炸药相比,废机油型乳化炸药的性能有所提高。
- 3)将废机油应用于现场混装乳化炸药生产当中,既可以有效地减少废机油对环境的污染,还可以降低炸药成本,优化炸药成本结构,可为废机油的资源化再利用提供参考。

参 考 文 献

[1] 汪旭光. 乳化炸药[M]. 北京:冶金工业出版社,1993.
WANG X G. Emulsion explosive[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press,1993.

[2] 苗战颖,董桂林,邵江华,等. 浅谈影响我国乳化炸药的因素[J]. 煤矿爆破,2004(4):26-27.
MIAO Z Y,DONG G L,SHAO J H,et al. A preliminary discussion on influence factors of emulsion explosive development[J]. Coal Mine Blasting,2004(4):26-27.

[3] 姚普华,储国平,江晓勇,等. 利用废机油生产现场混装乳化炸药的方法:CN 104177208 A [P]. 2014-12-03.

[4] 李建军. 国外乳化炸药的发展状况及趋势[J]. 矿业快报,2005,21(3):6-9.
LI J J. Development state and trends of foreign emulsion explosive[J]. Express Information of Mining Industry, 2005,21(3):6-9.

[5] ATHEY R D, Jr. Emulsion polymer technology [M]. New York: Marcel Dekker, 1991.

[6] 宋敬埔,吴红梅. 我国乳化炸药的研究近况及发展建议[J]. 爆破器材,2003,32(4):5-10.
SONG J P, WU H M. The recent research and develop-

ment advice on the emulsion explosives in our country [J]. Explosive Materials,2003,32(4):5-10.

[7] 简国祚,王世强,俞政洪,等. 废机油在混装乳化炸药生产中的应用研究[J]. 火工品,2017(6):37-40.
JIAN G Z,WANG S Q,YU Z H,et al. The application research of recycled engine oil in emulsion manufacture [J]. Initiators & Pyrotechnics,2017(6):37-40.

[8] 刘杰,徐志祥,孔煜. 乳化炸药稳定性及其破乳机理研究[J]. 爆破器材,2015,44(6):38-42.
LIU J, XU Z X,KONG Y. Storage stability and demul-sion mechanism of emulsion explosives[J]. Explosive Ma-terials,2015,44(6):38-42.

[9] 张续,吴红波,张洪,等. 油相材料对现场混装乳化炸药性能的影响[J]. 安徽化工,2019,45(4):65-67.
ZHANG X,WU H B,ZHANG H,et al. Effect of oil phase materials on the performance of field mixed emulsion ex-plosive[J]. Anhui Chemical Industry, 2019,45(4):65-67.

[10] 薛燕. 乳化炸药生产储存稳定性研究[J]. 火炸药学报,1999,22(3):42.
XUE Y. Study on the stability of emulsion explosive pro-duction and storage[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants,1999,22(3):42.

[11] 杨佩璐. 国外专利乳化炸药配方 100 例综述[J]. 爆破器材,1986(1):27-30,40.

[12] 熊言涛,魏善太,吴继昌,等. 一种上向深孔现场混装用乳胶基质的研究[J]. 爆破器材,2020,49(4):39-44.
XIONG Y T,WEI S T,WU J C,et al. Study on an emul-sion matrix used for upward deep hole [J]. Explosive Materials,2020,49(4):39-44.

[13] 民用爆炸物品生产、销售企业安全管理规程:GB 28263—2012 [S]. 北京:中华人民共和国工业和信息化部,2012.
Regulations of safety management for the manufacturing and marketing enterprise of civil explosives materials: GB 28263—2012[S]. Beijing:Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of Chi-na,2012.

[14] 陈志刚,杨荣志. 用高分子添加剂提高乳化炸药的贮存稳定[J]. 北京理工大学学报,1999,19(5):651-655.
CHEN Z G,YANG R Z. Improving the storage stability of emulsion explosives with a polymer additive[J]. Jour-nal of Beijing Institute of Technology,1999,19(5):651-655.