

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2017.01.004

# 环境冲击对车载乳胶基质破乳的影响<sup>\*</sup>

吴秋洁<sup>①</sup> 谭柳<sup>①</sup> 吴鹏<sup>①</sup> 徐森<sup>①②</sup> 刘大斌<sup>①</sup>

①南京理工大学化工学院(江苏南京,210094)

②国家民用爆破器材质量监督检验中心(江苏南京,210094)

[摘要] 针对车载乳胶基质在长途运输后容易出现局部破乳的现象,设计了高低温循环试验和振动试验,模拟其实际使用过程中可能经受的环境冲击,对样品进行加速老化处理,探索环境冲击对样品外观、浸出液的硝酸铵析出量、电导率和乳胶基质黏度的影响规律,得出环境冲击对车载乳胶基质破乳的影响。试验结果表明,温度冲击对试验乳胶基质样品破乳的影响较为明显,其破乳的状态随着温度冲击周期的增加大致分为3个阶段,经历4个温度冲击周期后即出现破乳;而振动冲击对乳胶基质样品破乳的影响较小。但在温度和振动冲击耦合作用下,乳胶基质样品的不稳定趋势明显加速,对破乳的影响远大于纯温度和纯振动冲击的影响。

[关键词] 车载乳胶基质;破乳;环境冲击

[分类号] TJ55;TD235.2<sup>+1</sup>

## Influence of Environmental Shock on the Demulsification of Vehicle-mounted Emulsion

WU Qiujie<sup>①</sup>, TAN Liu<sup>①</sup>, WU Peng<sup>①</sup>, XU Sen<sup>①②</sup>, LIU Dabin<sup>①</sup>

①School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology (Jiangsu Nanjing, 210094)

②National Quality Supervision and Inspection Center for Industrial Explosive Materials (Jiangsu Nanjing, 210094)

[ABSTRACT] To better understand the influence of environmental shock on the demulsification of vehicle-mounted emulsion, high-low temperature cycling test and vibration test were applied to simulate environmental shock for the accelerated aging treatment of emulsion samples. The influence rules governing the environmental shock on appearance, precipitation quantity of ammonium nitrate, electric conductivity, and viscosity of the emulsion matrix were deduced. Results show that the temperature shock appears to be a significant factor on the testing sample's demulsification, which includes approximately three stages with the increase of temperature shock periods and would happen after four high-low temperature cycles, whereas vibration shock seems to be less effective on the demulsification. However, under the combined temperature-vibration shock condition, the unstable tendency of emulsion would be accelerated, which far exceeds the single influence brought in by either temperature shock or vibration shock.

[KEYWORDS] vehicle-mounted emulsion; demulsification; environmental shock

## 引言

现场混装炸药技术被认为是发展至今最具本质安全性的一项兼炸药制备与爆破装药一体化的新技术<sup>[1]</sup>,因其高效、安全的特点成为国内外炸药与爆破领域的主要发展方向,而乳胶基质远程配送技术是其重要环节。虽然乳胶基质的安全、高效已得到

行业的广泛认可,但在实际使用过程中,乳胶基质通常需经历长距离远程配送,经常出现基质破乳的问题<sup>[2-3]</sup>。究其原因,行业认为是由于乳胶基质在长途运输过程中经受温度、振动等环境的冲击,从而出现破乳现象,影响其使用效果。

乳化炸药的稳定性是决定其应用价值的重要指标<sup>[4]</sup>,很大程度取决于乳胶基质的稳定性,油包水型乳胶体系的破坏(即破乳)则是其稳定性变差的

<sup>\*</sup> 收稿日期:2016-07-29

基金项目:国家自然科学基金;江苏高校优势学科建设工程资助项目

作者简介:吴秋洁(1981-),女,博士研究生,工程师,从事含能材料及安全方面研究。E-mail:adawuqiujie@163.com

通信作者:徐森(1981-),男,副研究员,从事含能材料的制造与应用、含能材料安全技术和危险品分类研究。E-mail:xusen@njust.edu.cn

重要表现。研究表明,乳化炸药的原材料与配方(包括乳化剂、敏化剂、油相材料、添加剂等)以及工艺条件(包括敏化温度、乳化温度等)均影响乳化炸药(乳胶基质)的稳定性<sup>[5-9]</sup>。在乳化炸药储存过程或使用中如遭遇外界冲击,将加速其破乳<sup>[10-12]</sup>。评价乳化炸药稳定性最直接、最客观的方法是自然储存法,但受自然环境条件的影响较大,且试验周期较长,因此在一般的科学研究中,通常采用显微观察法、电导率法、高低温循环法及水溶法等来评价乳化炸药的稳定性<sup>[13-15]</sup>,表征其破乳的程度。

车载乳胶基质一般采用高含水量的配方,同时其本身相比包装炸药就易于破乳,在长途运输后更容易出现局部破乳现象,因而针对不同环境冲击对基质破乳的影响,有必要进行深入研究分析。

本文中,笔者设计了高低温循环试验和振动试验,模拟乳胶基质使用过程中可能存在的环境冲击,对乳胶基质进行加速老化,分析了环境冲击对车载乳胶基质破乳的影响。

1 试验部分

1.1 试验样品

试验用乳胶基质自制,配方(质量分数)为:硝酸铵 77%,水 16%,油相/乳化剂 7%。

1.2 高低温循环试验

根据乳胶基质实际运输过程可能遇到的温度范围,并借鉴联合国橘皮书<sup>[16]</sup>相关试验方法,设定的高低温试验程序如下:将试样置于 80 ℃ 安全烘箱保持 8 h, -20 ℃ 下保持 16 h,为一个温度冲击周期(图 1),进行 20 个周期。

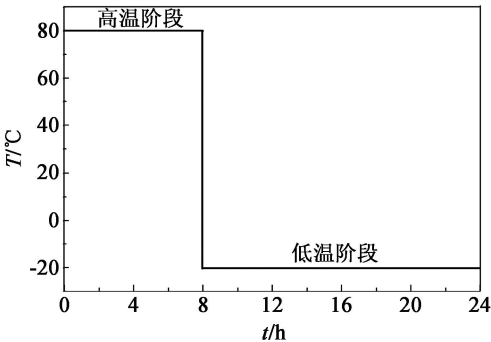


图 1 一个温度冲击周期的温度-时间变化程序

Fig. 1 Temperature-time procedure in a temperature shock period

1.3 振动试验

设计了 30 min 为一个周期的扫频振动程序,振

动频率设定为 7 ~ 200 Hz<sup>[17]</sup>。将样品置于固定在振动试验机水平台上的样品容器中(图 2),经受每 30 min 一次的扫频振动,样品容器随水平台进行垂直振动,振动程序参数如表 1 所示。



图 2 振动冲击试验装置

Fig. 2 Test apparatus of the vibration test

表 1 振动程序参数

Tab. 1 Vibration procedure parameters

频率/ Hz	加速度/ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ )	速度/ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	振幅/ mm
7.0	9.800	0.222 8	10.130
18.0	10.233	0.090 5	1.600
50.0	78.400	0.249 6	1.590
200.0	78.400	0.062 4	0.099

1.4 温度和振动耦合作用试验

为模拟同时经受温度和振动冲击的实际情况,设计了温度和振动耦合作用试验:乳胶基质经历一个高低温试验周期后,再进行一个振动试验周期,为一个耦合作用周期。

1.5 经环境冲击后乳胶基质物化性能检测

为了衡量乳胶基质样品的不稳定情况(即破乳程度),对经环境冲击后样品浸出液的硝酸铵析出量、电导率和样品黏度进行检测。

1) 乳胶基质样品浸出液准备。称取 10 g 待测乳胶基质样品,装入直径 50 mm 的表面皿中,用钢尺将样品刮平,使其平铺在表面皿底部,然后将表面皿放入 500 mL 烧杯中,加入 150 mL 纯净水。恒温水浴保持在 25 ℃,浸泡 1 h,将表面皿用镊子夹出。将浸出液移入容量瓶,加入纯净水定容至 250 mL。

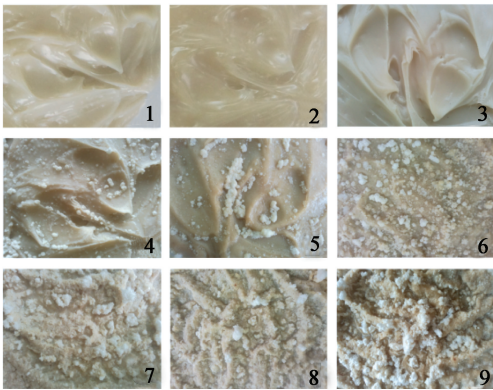
2) 物化性能测定。采用滴定法测定样品浸出液的硝酸铵析出量;采用 DDS-11A 型电导仪测定样品浸出液的电导率;采用 DV-II + PRO 黏度计测定乳胶基质样品黏度。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 温度冲击对乳胶基质稳定性的影响

#### 2.1.1 表面结构

经历不同温度冲击周期的乳胶基质样品表面照片如图 3 所示。



1 - 原样;2 - 1 个周期;3 - 3 个周期;  
4 - 4 个周期;5 - 7 个周期;6 - 12 个周期;  
7 - 15 个周期;8 - 17 个周期;9 - 20 个周期。

图 3 经历不同温度冲击周期后样品的表面照片

Fig. 3 Appearance photos of samples after different temperature shock periods

由图 3 可见,样品的外观随着温度冲击周期的增加发生变化。经历温度冲击 1~3 个周期的样品与乳胶基质原样相比,外观无明显变化;4 个周期的样品开始有白色硝酸铵晶体析出;7 个周期的样品中,白色硝酸铵析晶明显多于 4 个周期的样品;经受 12 个周期的样品中,硝酸铵析晶不再是呈点状分布,而是成片出现,布满样品表面,同时乳胶基质表面已经不再保持黏稠的乳胶状态,出现结垢固化的情况。

#### 2.1.2 乳胶基质浸出液的硝酸铵析出量

经历不同温度冲击周期的样品浸出液的硝酸铵析出量测试结果如表 2 所示。表 2 中, $M$  为每克样品所测得的硝酸铵析出量, $\varepsilon$  为溶失率。

由表 2 可知,样品浸出液的硝酸铵析出量随温度冲击周期的增加而增长。原样浸出液的硝酸铵析出量为 0.0018 g;经过 2 个周期的样品浸出液的硝

表 2 温度冲击后样品浸出液的硝酸铵析出量

Tab. 2 Precipitation quantity of ammonium nitrate from lixiviums of emulsion samples after different temperature shock periods

温度冲击周期	$M/\text{g}$	$\varepsilon$
0	0.001 8	0.002 4
2	0.002 7	0.003 5
4	0.021 7	0.028 4
7	0.030 5	0.039 9
9	0.040 0	0.052 3
11	0.104 8	0.137 0
15	0.138 1	0.180 5
17	0.153 2	0.200 2
20	0.180 9	0.236 5

酸铵析出量为 0.002 7 g,增幅较小;4、7 和 9 个周期的样品浸出液的硝酸铵析出量为 0.021 7、0.030 5 g 和 0.040 0 g,达到原样的 10 倍数量级的增长;11、15、17 和 20 个周期的样品浸出液的硝酸铵析出量为 0.104 8、0.138 1、0.153 2 g 和 0.180 9 g,增幅超过 0.1 g。这也与图 3 表面照片一致。

#### 2.1.3 乳胶基质浸出液的电导率

经历不同温度冲击周期的样品浸出液的电导率测试结果如表 3 所示。

由表 3 可知,经历 0、2、4、11 个周期样品浸出液的电导率分别为 12.6、21.4、856.0  $\mu\text{s}/\text{cm}$  和 3 180.0  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ,样品浸出液的电导率随温度冲击周期的增加而增长。样品在经历了 2 个周期的温度冲击后,仍具有较好的稳定性,未发生破乳;经历 4 次温度冲击的样品的电导率数值相对前一阶段内的电导率数值有了几十倍的增长,这一突变说明,样品此时已经开始出现破乳的情况,水相液滴相互聚集,从油膜中分离出来,在水中浸泡时,其中的  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{NO}_3^-$  等导电的离子游离到水中;经历 11 个温度冲击周期样品的电导率数值又有了较大增长,说明样品的破乳程度有了较大的变化,这与图 3 的表面观察状况相一致;而经历 15 个温度冲击的样品表面已经出现大面积析晶的现象,样品表层由胶状变成硝酸铵析晶和凝结的油相组成的固态;随后,温度冲击周期继续增加,样品的电导率在波动中趋于平稳。

表 3 温度冲击后样品浸出液的电导率

Tab. 3 Electric conductivity of lixiviums of emulsion samples after different temperature shock periods

温度冲击周期	0	2	4	7	9	11	15	17	20
电导率/ $(\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1})$	12.6	21.4	856.0	1 176.0	1 561.0	3 180.0	3 970.0	3 870.0	4 120.0



表 4 温度冲击后样品的黏度

Tab. 4 Viscosity of emulsion samples after different temperature shock periods

温度冲击周期	0	2	4	7	9	11	15	17	20
黏度/(Pa·s)	3.83	4.13	5.21	6.32	8.80	28.40	35.70	34.20	36.60

2.1.4 乳胶基质的黏度

经历不同温度冲击周期的样品浸出液的黏度测试结果如表 4 所示。

由表 4 可知,0、4、9、11、20 个周期的样品的黏度分别为 3.83、5.21、8.80、28.40 Pa·s 和 36.60 Pa·s。在 15 个周期内,样品黏度随温度冲击周期增加而增长;4~9 个温度冲击周期的样品有少量硝酸铵析晶出现(图 3),但样品的乳胶体系保存较为完整,试验结果表明,少量硝酸铵析晶的出现对样品的黏度影响较小;乳胶基质在 9~11 个温度冲击周期时,样品黏度由 8.80 Pa·s 迅速增加到 28.40 Pa·s,温度冲击对样品黏度影响较大,此时样品乳胶体系发生较大的变化。17~20 个周期时,样品黏度在 35 Pa·s 附近波动。

综合以上试验结果可见,试验用乳胶基质在经受温度冲击后趋于不稳定,影响较为明显,其呈现的破乳状态大致可分为 3 个阶段:

第 1 阶段,样品经受 0~2 个温度冲击周期时,表面观察样品,无明显变化,浸出液硝酸铵析出量、电导率和乳胶基质样品黏度与原样无明显变化。

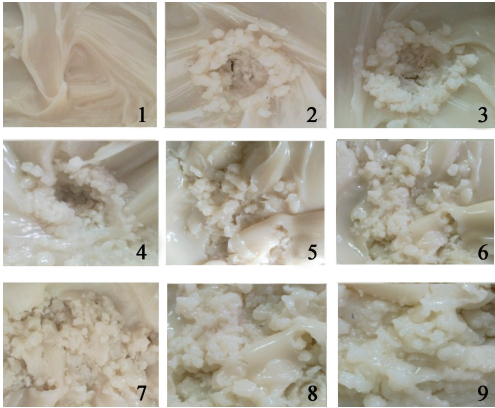
第 2 阶段,样品经受 4~9 个温度冲击周期时,样品开始破乳,出现点状分布的硝酸铵析晶,浸出液硝酸铵析出量、电导率和乳胶基质样品黏度与原样相比有了较大的增长,并在此阶段内增长速度较稳定。在经过 4 个周期后,样品浸出液的硝酸铵析出量相对之前有近十倍的增加;电导率数值有几十倍的增长;而黏度变化不大,说明少量硝酸铵析晶的出现对样品的黏度影响较小。

第 3 阶段,样品经受 11~20 个温度冲击周期时,样品出现片状的硝酸铵析晶,并出现表面硬化结垢,而浸出液硝酸铵析出量、电导率和样品黏度与第 2 阶段相比有较大的增长。经过 11 个周期样品浸出液的硝酸铵析出量大幅度增大,电导率和样品黏度均有数倍的增长。此阶段内样品浸出液硝酸铵析出量稳定增长,电导率和样品黏度增速减小,最后稳定在最高值附近。

2.2 振动冲击对乳胶基质稳定性的影响

2.2.1 表面结构

经历不同振动冲击周期的乳胶基质样品表面照片如图 4 所示。



1 - 原样;2,3 - 2 个振动周期;4,5 - 5 个振动周期;6,7 - 10 振动周期;8,9 - 20 个振动周期

图 4 经历不同振动冲击周期后样品的表面照片

Fig. 4 Appearance photographs of samples after different vibration shock periods

由图 4 可见,乳胶基质样品在经过 2 个振动冲击周期后,碎裂成米粒状的乳胶颗粒。之后,随着振动冲击周期的增加,基质破碎成颗粒状的范围增大,但破碎颗粒的大小无明显变化。经过 5~20 个振动冲击周期,原来破碎的乳胶颗粒在振动过程中又缓慢地相互聚集成大的胶团,并且最后恢复到平滑的乳状液状态。在整个振动冲击过程中,乳胶基质样品无明显颜色变化,也未见白色的硝酸铵晶体析出,可见,试验用乳胶基质样品受到振动冲击后未出现破乳的现象。

2.2.2 乳胶基质浸出液的硝酸铵析出量

经历不同振动冲击周期的样品浸出液的硝酸铵析出量测试结果如表 5 所示。表 5 中  $M$  为每克样品所测得的硝酸铵析出量, $\varepsilon$  为溶失率。

表 5 振动冲击后样品浸出液的硝酸铵析出量

Tab. 5 Precipitation quantity of ammonium nitrate from lixiviums of emulsion samples after different vibration shock periods

振动冲击周期	$M/g$	$\varepsilon$
0	0.001 8	0.002 4
2	0.002 8	0.003 7
5	0.002 8	0.003 7
10	0.003 2	0.004 2
20	0.004 2	0.005 5

从表 5 中可知,0、2、5、10 和 20 个振动冲击周期样品浸出液的硝酸铵析出量分别为 0.001 8、0.002 8、0.002 8、0.003 2 g 和 0.004 2 g,硝酸铵析出量随振动冲击周期的增加有一定增长,但是增长幅度较小,与未经处理的原样硝酸铵析出量在同一个数量级。对比表 2 中温度冲击后样品浸出液的硝酸铵析出量,可认为,样品经过 20 次振动冲击周期并未发生破乳的情况或只发生了少量的破乳。这一结果也与图 4 中样品的表面观察结果相吻合。

2.2.3 乳胶基质浸出液的电导率

经历不同振动冲击周期的样品浸出液的电导率测试结果如表 6 所示。

表 6 振动冲击后样品浸出液的电导率

Tab.6 Electric conductivity of lixiviums of emulsion samples after different vibration shock periods

振动冲击周期	0	2	5	10	20
电导率/ ( $\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$ )	13.12	14.58	15.36	15.88	16.72

由表 6 可知,0、2、5、10 和 20 个振动冲击周期的样品浸出液的电导率分别为 13.12、14.58、15.36、15.88  $\mu\text{s}/\text{cm}$  和 16.72  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ,电导率增长较平缓。由试验结果知,样品浸出液电导率随振动冲击周期的增加有略微的增长,振动冲击对样品的电导率影响不大。

2.2.4 乳胶基质的黏度

经历不同振动冲击周期的样品的黏度测试结果如表 7 所示。

表 7 振动冲击后样品的黏度

Tab.7 Viscosity of emulsion samples after different vibration shock periods

振动冲击周期	0	2	5	10	20
黏度/ ( $\text{Pa} \cdot \text{s}$ )	3.82	3.90	4.18	4.65	4.91

由表 7 可知,样品经过 0、2、5、10、20 个振动冲击周期后,黏度分别为 3.82、3.90、4.18、4.65、4.91  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ;样品的黏度随着振动冲击周期的增加而小幅度增加。可见,振动冲击对乳胶基质样品的黏度影响较小。

综合试验结果可见,样品经过 20 个振动冲击周期,其外观无明显的颜色变化,无明显硝酸铵晶体析出。样品浸出液的硝酸铵析出量、电导率和样品的黏度所受影响较小,经历振动冲击后样品的物化性

能与原样接近。

2.3 温度和振动冲击耦合作用对乳胶基质稳定性的影响

乳胶基质样品经历不同耦合作用周期后的表面结构变化如图 5 所示。

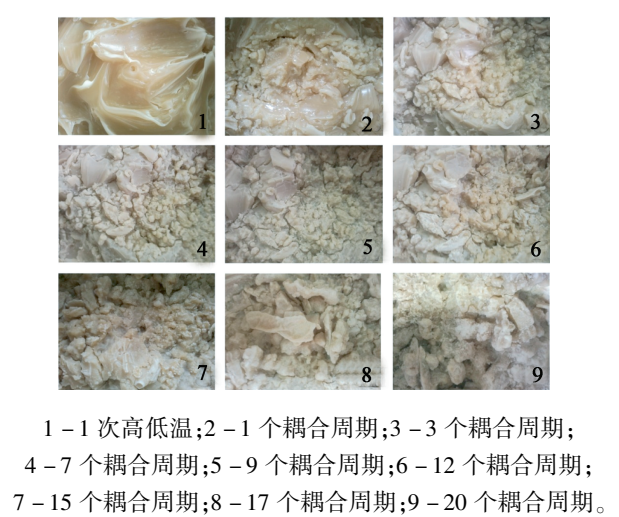


图 5 经历不同耦合作用后样品的表面照片

Fig.5 Appearance photographs of samples after different coupled shock periods

从图 5 可以看出,对比相同周期的振动冲击,温度和振动冲击耦合作用样品表面的破碎情况更加明显,范围更大。经过 9 个耦合作用周期后,样品表面已经明显开始硬化,并且断裂处出现白色晶体;当经过 17 个耦合作用周期后,样品破碎表面完全硬化,表层形成一种类似结垢的硬质固态。

不同耦合作用周期的乳胶基质样品浸出液的硝酸铵析出量、电导率和样品黏度的测试结果,如表 8 ~ 表 10 所示。

由表 8 ~ 表 10 可见,当 9 个耦合周期后,乳胶基质浸出液的硝酸铵析出量、电导率和样品的黏度分别为 0.121 1 g、2 632  $\mu\text{s}/\text{cm}$  和 18.12  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ,均已远远大于纯温度冲击和纯振动冲击。样品随着破乳

表 8 温度和振动耦合作用后样品浸出液的硝酸铵析出量

Tab.8 Precipitation quantity of ammonium nitrate from lixiviums of emulsion samples after different coupled shock periods

耦合周期	$M/\text{g}$	$\varepsilon$
0	0.001 8	0.002 4
2	0.013 1	0.016 9
4	0.051 7	0.067 6
7	0.090 6	0.118 4
9	0.121 1	0.158 2

表 9 温度和振动耦合作用后样品  
浸出液的电导率

Tab.9 Electric conductivity of lixiviums of  
emulsion samples after different vibration  
coupled shock periods

耦合周期	0	2	4	7	9
电导率/ ( $\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$ )	12.58	232	1 320	1 932	2 632

表 10 温度和振动耦合作用后样品的黏度

Tab.10 Viscosity of emulsion samples after  
different coupled shock periods

耦合周期	0	2	4	7	9
黏度/ ( $\text{Pa} \cdot \text{s}$ )	3.83	5.32	5.98	9.45	18.12

加剧,其表面固化,并且成粒状,9 个周期之后不再  
适合取样分析。

由试验结果综合分析可见,温度冲击对乳胶基  
质样品稳定性的影响较为明显,而振动冲击的影响  
并不明显,但是一旦两者的作用叠加后,这方面的影  
响就会明显加剧,表明振动冲击对经过温度冲击后  
的乳胶基质破乳有着促进作用。这种耦合作用下的  
加速现象,主要是由于在经历了温度冲击后,乳胶基  
质处于相当不稳定的状态,开始出现破乳情况之后,  
再经历振动冲击,已经呈现破乳状态的表层易受到  
更大的破坏,导致水分挥发和硝酸铵析晶进一步加  
快,也就导致了耦合作用下的乳胶基质破乳情况更  
严重,相对于纯温度冲击下的情况更加提前。

3 结 论

依据试验结果可知:

- 1)温度冲击对试验乳胶基质样品稳定性的影  
响较为明显。经受 4 个温度冲击周期之后,试验用  
乳胶基质即发生了明显的破乳,在 4 ~ 20 个温度冲  
击周期内破乳情况呈上升趋势。
- 2)振动冲击对试验乳胶基质样品稳定性的影  
响较小。
- 3)温度和振动冲击耦合作用对试验用乳胶基  
质样品稳定性的影响更为显著。
- 4)试验研究结果可为车载乳胶基质的配方筛  
选和实际使用过程中的破乳情况定量表征提供借鉴  
与参考。

参 考 文 献

[1] 李鑫,查正清,龚兵,等. BGRIMM 炸药现场混装技术  
新进展[J]. 有色金属工程, 2015, 5(3): 75-77.  
LI X, ZHA Z Q, GONG B, et al. Site mixing technology  
new progress of BGRIMM explosive [J]. Nonferrous  
Metals Engineering, 2015, 5(3): 75-77.

[2] 王进. 乳胶体系的稳定性及破乳方法研究[D]. 南  
京:南京理工大学, 2008.  
WANG J. Study on the stability and demulsification  
methods of explosive emulsion [D]. Nanjing: Nanjing  
University of Science and Technology, 2008.

[3] 张命林. 乳化炸药生产过程中破乳问题分析[J]. 煤  
矿爆破, 2007 (4): 18-19.  
ZHANG M L. The analysis of emulsion breaking in the  
production of emulsion explosives [J]. Coal Mine Blas-  
ting, 2007(4): 18-19.

[4] 汪旭光. 乳化炸药[M]. 第 2 版. 北京:冶金工业出  
版社, 2008.  
WANG X G. Emulsion Explosives [M]. 2nd Ed. Bei-  
jing: Metallurgical Industry Press, 2008.

[5] 吴允杨, 吴多义. Span-80 指标与乳化炸药稳定性关  
系探讨[J]. 煤矿爆破, 2014(3): 20-23, 26.  
WU Y Y, WU D Y. Analysis of the stability between  
Span-80 index and emulsion explosive [J]. Coal Mine  
Blasting, 2014(3): 20-23, 26.

[6] 胡坤伦, 杨仁树, 李冰. 敏化温度影响乳化炸药稳定  
性的实验研究[J]. 煤炭学报, 2008, 33(9): 1011-  
1014.  
HU K L, YANG R S, LI B. Experimental research of  
sensitive temperatures on influencing the stability of the  
emulsion explosives [J]. Journal of China Coal Society,  
2008, 33(9): 1011-1014.

[7] 缪志军, 吴红波, 颜事龙, 等. 粘度对乳胶基质稳定性  
影响的实验研究[J]. 安徽理工大学学报(自然科学  
版), 2015, 35(4): 28-30.  
MIAO Z J, WU H B, YAN S L, et al. Experimental  
study on effect of viscosity on emulsion matrix stability  
[J]. Journal of Anhui University of Science and Tech-  
nology(Natural Science), 2015, 35(4): 28-30.

[8] 孙信林. 浅谈乳化炸药稳定性的提高[J]. 煤矿爆破,  
2013 (1): 37-38.  
SUN X L. Discussion on improving the stability of emul-  
sion explosive [J]. Coal Mine Blasting, 2013 (1): 37-  
38.

[9] 王树涛. 添加剂对乳化炸药稳定性的影响[D]. 沈  
阳:沈阳理工大学, 2015.  
WANG S T. The effect of additives on the stability of  
emulsion explosive [D]. Shenyang: Shenyang Ligong Uni-

versity, 2015

[10] 杨帆,姚栋,曹勇,等. 超声波法评价乳化基质稳定性的实验研究[J]. 火工品, 2015 (1): 45-48.  
YANG F, YAO D, CAO Y, et al. Experimental investigation on the ultrasonic measurement method to evaluate the stability of emulsion explosive matrix[J]. Initiators & Pyrotechnics, 2015 (1): 45-48.

[11] 高圣涛,王文丽,方华,等. 超声波作用下乳化炸药和乳胶基质的破乳现象试验研究[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版), 2016, 36(1): 62-64.  
GAO S T, WANG W L, FANG H, et al. Research on demulsification of emulsion explosive and emulsion matrix under ultrasonic wave[J]. Journal of Anhui University of Science and Technology ( Natural Science ), 2016, 36(1): 62-64.

[12] 吴鹏,刘静平,陈相,等. 温度冲击对车载乳胶基质安全性的影响[J]. 爆破器材, 2016, 45(1): 56-59.  
WU P, LIU J P, CHEN X, et al. Effect on temperature shock on the safety of vehicle emulsion matrix[J]. Explosive Materials, 2016, 45(1): 56-59.

[13] 胡坤伦,李光,尤奎,等. 影响乳化炸药稳定性物理性能试验研究[J]. 爆破器材, 2010, 39(4): 15-17.  
HU K L, LI G, YOU K, et al. Experimental study on physical properties affecting the stability of emulsion explosive[J]. Explosive Materials, 2010, 39(4): 15-17.

[14] 黄丽媛,张国虎,汤代红,等. 乳化炸药稳定性测试方法研究[J]. 爆破器材, 2013, 42(2): 34-36.  
HUANG L Y, ZHANG G H, TANG D H, et al. Testing method study on the stability of emulsion explosive[J]. Explosive Materials, 2013, 42(2): 34-36.

[15] 张阳,汪旭光,王尹军,等. 高低温循环与电导率法对乳化炸药稳定性的试验研究[J]. 工程爆破, 2014, 20(1): 47-49, 58.  
ZHANG Y, WANG X G, WANG Y J, et al. Study on the stability of the emulsion explosive by combining the electric conductivity and high-low temperature cycle[J]. Engineering Blasting, 2014, 20(1): 47-49, 58.

[16] Recommendations on the transport of dangerous goods-manual of tests and criteria;ST/SG/AC. 10/11/Rev. 6 [S]. New York and Geneva, United Nations, 2015: 193-196.

声 明

1、本刊对发表的文章拥有出版电子版、网络版版权,并拥有与其他网站交换信息的权利。本刊支付的稿酬已包含以上费用。

2、本刊文章版权所有,未经书面许可,不得以任何形式转载。

《爆破器材》编辑部