

文章编号: 1006-9941(2006)02-0147-04

## 乳化炸药基质分散相液滴大小及分布的影响因素

张显丕<sup>1</sup>, 郭子如<sup>1</sup>, 李道平<sup>2</sup>

(1. 安徽理工大学化学工程系, 安徽 淮南 232001;

2. 中国人民解放军73882部队, 福建 龙岩 364009)

**摘要:** 利用激光粒度分析仪测试了乳化炸药基质粒子大小与分布, 研究了乳化炸药水相析晶温度、搅拌速度、乳化剂含量对粒子大小及分布的影响。结果表明: 在一定条件下, 水相析晶温度对分散相液滴大小与分布有较明显的影响; 乳化搅拌速度存在一个临界值, 本实验条件下此值为  $1230 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ , 超过临界搅拌速度时, 其分散相液滴大小与分布变化不显著, 在临界搅拌速度以下, 乳化搅拌速度影响十分显著; 过分地增加乳化剂含量对分散相液滴大小与分布也没有明显作用。

**关键词:** 物理化学; 乳化炸药; 液滴大小; 分散相; 乳化

**中图分类号:** TJ55; TD235.21+2

**文献标识码:** A

### 1 引言

乳化炸药是通过乳化技术将氧化剂和可燃剂分散混合而成的一类工业炸药, 乳化炸药分散相液滴的大小与分布反映了可燃剂和氧化剂的混合均匀程度, 与乳化炸药的爆炸性能及贮存稳定性密切相关。研究乳化炸药基质分散相液滴大小与分布可以深入认识和了解乳化炸药这一特殊体系的物理化学特性以及爆轰特征, 对乳化炸药的进一步发展具有重要的理论和实际意义<sup>[1]</sup>。本文考察了水相析晶温度、搅拌速度、乳化剂含量对液滴大小与分布的影响。

### 2 液滴大小与分布的影响因素

在搅拌作用下, 乳化液滴的大小可以用下式确定<sup>[2]</sup>:

$$d_k = k\varphi f_0 (f_c/D) (d^3 n^3 \bar{\rho}/\sigma)^{k_1} (dn^2/g)^{k_2} (\mu_c/\mu_d) \quad (1)$$

式中,  $k$  为桨形系数 (不同的搅拌桨有不同的值);  $\varphi$  为分散相容积分数;  $f_c$  为与  $\varphi$  有关的系数;  $f_0$  为临界效应系数, 转速再提高粒径不会减小;  $n$  为转速,  $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $d$  为桨叶直径,  $\text{cm}$ ;  $D$  为搅拌罐直径,  $\text{cm}$ ;  $g$  为加速度,  $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ;  $\mu_d$  为分散相粘度系数,  $\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ;  $\mu_c$  为连续相的粘度系数,  $\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ;  $\sigma$  为两相混合液的界面张力,  $10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ ;  $\bar{\rho}$  为平均密度,  $\bar{\rho} = 0.4 \rho_c + 0.6 \rho_d$ ,  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ;  $\rho_c$  为连续相的密度,

$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ;  $\rho_d$  为分散相的密度,  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

该式反映了搅拌作用对乳化分散或者说对液滴大小与分布的影响规律。此外, 凡是能够增大界面膜强度, 降低氧化剂水溶液的析晶点, 有利于液滴分散, 并能防止液滴积聚, 都能对乳化炸药的液滴大小与分布产生有益的影响, 使乳化炸药的粒子细小、均匀和稳定<sup>[2]</sup>。

### 3 乳化基质的制备工艺及分散相液滴粒度测试

采用 4023 型台式钻床作为搅拌器, 经过水相加热硝化、油相加热熔化、加入油相、加入水相开始乳化、停机出膏等一系列步骤制备炸药基质, 工艺条件如下:

水相温度:  $110 \sim 115 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 油相温度:  $95 \sim 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 乳化时间: 4 min; 搅拌桨直径: 12 cm; 乳化罐尺寸:  $\Phi 160 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ ; 搅拌速度根据实验目的分别调为: 1765, 1230, 765, 530  $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

目前国内外观测乳化炸药基本粒子的大小及分布的方法有以下四种: 一是全自动图像分析仪测量法, 该法具有测定速度快, 结果较准确等优点, 但所用仪器价格昂贵, 难以广泛使用; 二是离子沉降式粒度分布仪全自动测定法, 由于测定时乳状液可能会发生凝聚、合并或者分散等现象, 因此测得的乳状液粒径的大小及分布只是一个相对值; 三是显微镜观测法, 利用光学显微镜直接观测基本粒子, 借助测微尺判断基本粒子的大小及分布, 通过自动照相系统获得透光照片<sup>[3]</sup>, 这种方法简单方便, 主要缺点是视野的纵深性比较小, 从而很难精确地确定液滴的粒度<sup>[4]</sup>; 四是激光粒度仪测试法, 其集成激光技术、现代光电技术、电子技术、精密机械和计算机技术于一身, 具有测量速度

收稿日期: 2005-08-08; 修回日期: 2005-12-12

作者简介: 张显丕(1981-), 男, 硕士研究生, 研究方向为爆破器材技术及应用。e-mail: zhangxianpei7593.student@sina.com

快、动态范围大、操作简便、重复性好等优点<sup>[5]</sup>。

本文采用济南微纳仪器有限公司生产的Winner2000型台式激光粒度分析仪进行粒度测量,该分析仪采用信息光学原理,通过测量颗粒群的空间散射频谱,经过计算机进行数据处理来分析其颗粒粒度分布。测试过程不受颗粒的物理、化学性质的限制,不需要输入任何参数,粒度测量范围0.1~300 μm,  $D_{50}$ 的不确定度及标准偏差均小于3%。

## 4 水相析晶温度、搅拌速度、乳化剂含量对液滴大小与分布的影响

### 4.1 析晶温度的影响

乳化炸药中的主要成分硝酸铵能和某些化合物如硝酸钠、尿素等形成低共熔点化合物,使析晶点下降,氧化剂盐的含量一定时,增加水份含量,也会降低硝酸铵析晶点,实验通过改变硝酸铵、硝酸钠、尿素以及水的添加量,来获得不同的水相析晶温度。按照乳化炸药配方原理,设计的不同水相析晶温度的乳化炸药基质配方见表1。在相同实验条件下制备了表1中的四种乳化炸药基质并对其分散度进行了测试,测试结果见表2。

由表1可知,四种不同配比的炸药,其水相析晶温度逐渐降低,即对应于(1)式中 $\rho_c$ 、 $\rho_d$ 、 $\mu_c$ 、 $\mu_d$ 的改变,粒子大小受多种因素的交叉影响,因此,图1中的四条曲线并不随着析晶温度的降低而呈有规律的变化。

表1 不同配比的乳化炸药水相析晶温度

Table 1 The crystallizing temperature for water-phase of emulsion explosives with different proportion

No.	ammonium nitrate /%	sodium nitrate /%	water /%	compound wax /%	polyisobutylene-succinimide /%	urea /%	crystallizing temperature of water-phase /°C
1	10	75.65	8	4.35	2.0	-	95
2	12	71.61	10	4.39	2.0	-	83
3	12	68.49	11	3.51	2.0	3.0	73
4	12	66.09	12	2.91	2.0	5.0	63

表2 四种乳化炸药基质分散度

Table 2 The dispersion degree of various emulsion explosives matrix with different crystallizing temperature

No.	$D_{10}/\mu\text{m}$	$D_{25}/\mu\text{m}$	$D_{50}/\mu\text{m}$	$D_{75}/\mu\text{m}$	$D_{90}/\mu\text{m}$	average particle size/ $\mu\text{m}$	range of particle size/ $\mu\text{m}$
1	1.52	2.63	2.14	2.63	3.23	2.29	1.02~8.64
2	2.57	3.84	3.84	4.81	6.13	4.13	0.57~12.73
3	1.02	1.18	1.44	1.76	2.17	1.53	0.69~5.86
4	1.27	1.47	1.75	2.12	2.55	1.85	0.84~7.11

Note:  $D_{10}$  show that the volume less than and equaling to the value of droplet size is 10 percent of total volume, so were  $D_{25}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{75}$ ,  $D_{90}$ .

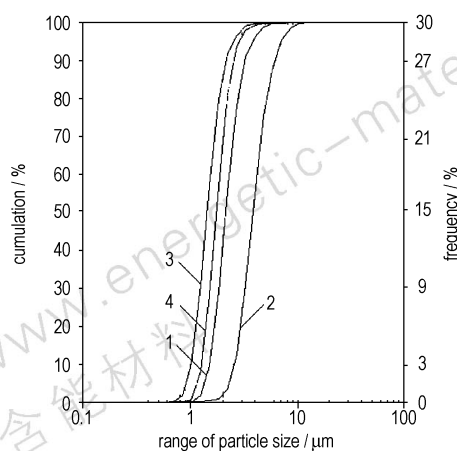


图1 水相析晶温度对分散相粒子大小与分布的影响比较

Fig. 1 The comparison of the effect of the crystallizing temperature of water-phase on the droplet size and distribution of emulsion explosives

从图1还可以看出,3号和4号配方的曲线位于1号和2号的左方,且平均直径较小,粒径分布范围也较窄,所以,随着水相析晶温度的降低,乳化炸药分散相粒径有减小的趋势,分布也更均匀。4号配方虽然析晶温度低,但其连续相量少,可能影响了分散相液滴的大小与分布。因而,在降低乳化炸药水相析晶点的同时,应考虑连续相的变化对分散相液滴大小与分布的影响。

### 4.2 乳化分散时搅拌速度的影响

在不同搅拌速度下,对表1中3号配方乳化炸药基质分散度测试,结果见表3。由表3可以看出,1765  $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 和1230  $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 两种搅拌速度下制备的乳化炸药基质粒子大小与分布基本相同,只是在高搅拌速度下出现了较多小粒径液滴的炸药基质。我们认为在该实验条件下,1230  $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 已接近临界搅拌速度,即当搅拌速度大于1230  $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 后,乳化炸药颗粒大

小与分布将不再随搅拌速度变化而明显变化。搅拌速度为  $765 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$  时, 样品液滴的平均直径及粒径范围均比前两种搅拌速度大一些, 当搅拌速度为  $530 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$  时则增加更为显著, 说明在低搅拌速度下生产出的乳化炸药基质中含有一部分大直径的粒子。总体来说, 乳化炸药粒子大小与分布范围随着搅拌速度

的降低而增大, 且在临界搅拌速度以下, 影响较为显著。

#### 4.3 乳化剂聚异丁烯丁二酰亚胺含量的影响

本实验以复合蜡作为油相, 选用聚异丁烯丁二酰亚胺作为乳化剂, 在其它组分配比及工艺条件相同的情况下(同表1中3号配方), 改变乳化剂含量制备了四种乳化炸药基质, 其分散相液滴大小与分布测试结果见表4。

表3 搅拌速度不同的乳化炸药基质分散度测试结果

Table 3 The testing results of dispersion degree of emulsion explosives matrix with different stirring velocity

stirring velocity / $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	$D_{10}$ / $\mu\text{m}$	$D_{25}$ / $\mu\text{m}$	$D_{50}$ / $\mu\text{m}$	$D_{75}$ / $\mu\text{m}$	$D_{90}$ / $\mu\text{m}$	average particle size / $\mu\text{m}$	range of particle size / $\mu\text{m}$
1765	1.01	1.17	1.42	1.74	2.15	1.52	0.12 ~ 5.86
1230	1.02	1.18	1.44	1.76	2.17	1.53	0.69 ~ 5.86
765	1.26	1.47	1.78	2.21	2.76	1.93	0.84 ~ 10.48
530	2.24	2.60	3.15	3.90	4.95	3.53	1.51 ~ 40.72

表4 乳化剂含量不同的乳化炸药基质分散度测试结果

Table 4 The testing results of dispersion degree of emulsion explosives matrix with different contents of emulsifying agent

No.	contents of emulsifying agent /%	$D_{10}$ / $\mu\text{m}$	$D_{25}$ / $\mu\text{m}$	$D_{50}$ / $\mu\text{m}$	$D_{75}$ / $\mu\text{m}$	$D_{90}$ / $\mu\text{m}$	average particle size / $\mu\text{m}$	range of particle size / $\mu\text{m}$
5	1.0	1.14	1.34	1.61	1.91	2.19	1.64	0.69 ~ 4.83
6	1.5	1.28	1.50	1.81	2.23	2.78	1.96	0.39 ~ 15.45
7	2.0	1.02	1.18	1.44	1.76	2.17	1.53	0.69 ~ 5.86
8	2.5	0.91	1.09	1.38	1.82	2.58	1.71	0.69 ~ 18.75

从表4可以看出, 6、7、8三种配方样品的  $D_{50}$  分别是 1.81, 1.44, 1.38  $\mu\text{m}$ , 呈减少的趋势, 说明随着乳化剂聚异丁烯丁二酰亚胺含量的增加, 乳化炸药基质中的小直径粒子在逐渐增多; 5、7、8三种配方样品的粒径范围起点相同, 终点逐渐增大, 即粒径分布范围越来越宽, 说明增加乳化剂含量并不能明显改变炸药基质中最小粒子的直径, 却会使其出现直径越来越大的粒子。7、8两配方的  $D_{50}$ 、 $D_{75}$  相差不大, 说明乳化剂聚异丁烯丁二酰亚胺的含量在大于2%以后, 对基质粒子大小及分布的影响已不明显, 由此可得出其临界有效添加量为2%左右。这与北京矿冶研究总院的结果是一致的<sup>[6]</sup>。

## 5 结论

(1) 在一定范围内水相析晶温度对分散相液滴大小与分布有较为明显的影响。

(2) 一定条件下乳化搅拌存在一个临界值, 超过临界搅拌速度时, 其分散相液滴大小与分布变化不显著。因此实际生产中过分提高乳化剪切作用是没有必要的。在临界搅拌速度以下, 乳化搅拌速度影响十分显著。

(3) 乳化剂聚异丁烯丁二酰亚胺的添加量存在一个临界有效值, 过分地增加其含量对分散相液滴大小与分布没有明显作用。

#### 参考文献:

- [1] 成新法. 矿用炸药[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1995.
- [2] 汪旭光. 乳化炸药[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1986.
- [3] 徐国财. 乳化炸药基本粒子的测试与表征[J]. 爆破器材, 1996, 25(5): 1-4.  
XU Guo-cai. Determination and characterization of macro-latex particle of emulsion explosion[J]. *Explosive Materials*, 1996, 25(5): 1-4.
- [4] Munoz V A, Mikula R J. Applying the microscope to researching the characteristic of emulsion and suspension in petroleum industry[J]. *Journal of Canadian Petroleum Technology*, 1997, 36(11): 17-18.
- [5] 吕方. 国内外激光粒度仪性能特点对比[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2005, 47(3): 35-36.  
Lü Fang. The comparison of performance peculiarity of laser particle analyzer both domestic and abroad ones[J]. *China Nonmetal Miner Industry Guiding Periodical*, 2005, 47(3): 35-36.
- [6] 崔安娜, 汪旭光. 聚异丁烯丁二酰亚胺乳化剂的研究与应用[J]. 矿冶, 1994, 3(3): 1-11.  
CUI An-na, WANG Xu-guang. Research and application of polyisobutylene-suuimide in emulsion explosives[J]. *Mining & Metallurgy*, 1994, 3(3): 1-11.

## Factors Affecting the Droplet Size and Distribution of Dispersion Phase of Emulsion Explosives Matrix

ZHANG Xian-pei<sup>1</sup>, GUO Zi-ru<sup>1</sup>, LI Dao-ping<sup>2</sup>

(1. Department of Chemical Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China;

2. The 73882 Army Unit of CPLA, Longyan 364009, China)

**Abstract:** The droplet size and distribution of dispersion phase for emulsion explosives matrix were tested by laser particle analyzer. The effect of the crystallizing temperature of water-phase, the stirring speed, and the contents of emulsifying agent on the droplet size and distribution of emulsion explosives were studied. The results show that the effect of crystallizing temperature of water-phase on droplet size and distribution of dispersion phase is evident under certain conditions. There is a critical stirring speed of emulsion ( $1230 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ) below which the effect of stirring speed on the droplet size and distribution of dispersion phase is evident but is not obvious when the stirring speed of emulsion is over the critical value. The value is  $1230 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$  under the experimental conditions. The additions of superabundant emulsifier agent to emulsions have no obvious effects on droplet size and distribution of dispersion phase.

**Key words:** physical chemistry; emulsion explosive; droplet size; dispersion phase; emulsion

(上接 143 页)

中,分散剂对 RDX 颗粒进行了微包覆,阻止了粉碎后的 RDX 颗粒的团聚。所以,随着对 RDX 水悬浮液对撞压力和次数的增加,RDX 颗粒获得更进一步的粉碎,从而得到亚微米或纳米级的 RDX 颗粒。

### 4 结 论

(1) 高速撞击法是制备超细易燃易爆危险品的一种比较好的方法。

(2) 撞击压力和撞击次数对 RDX 的破碎都能产生效果,但撞击压力比撞击次数效果要明显一些。

(3) 选择适当的撞击压力和次数可制备出分布为  $0.9 \text{ nm}$ ,  $d_{50}$  为  $47 \text{ nm}$  左右的 RDX。

#### 参考文献:

- [1] 张立德,牟季美. 纳米材料学[M]. 沈阳: 辽宁科学与技术出版社,1994.
- [2] 李凤生. 特种超细粉体制备技术及应用[M]. 北京: 国防工业出版社,2002.
- [3] Raymond T, William R F. Development of processes for reliable detonator grade very fine secondary explosive powders[R]. DE882012863.
- [4] Tamir A(以色列). 撞击流反应器原理和应用[M]. 伍沅译. 北京: 化学工业出版社,1996.

## Preparation of Nanometer RDX Particle

HE De-chang, ZHOU Lin, XU Jun-pei

(State key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** The nanometer RDX particle was prepared by using high speed impinging method. The results show that the nanometer RDX particle with narrow size distribution can be prepared by high speed impinging method. The particle sizes ( $d_{50}$ ) can be committed to about  $46.7 \text{ nm}$ , and the range distribution of particle size is within  $0.6 \text{ nm}$ .

**Key words:** material science; RDX; distribution of particle size; nanometer; high speed impinging