

文章编号:1006-9941(2020)08-0773-06

喷雾干燥前驱体纳米 Al 悬浮液的制备及分散稳定性

李小东,孙红燕,杨 玥,宋昌贵,刘慧敏,王晶禹

(中北大学环境与安全工程学院,山西 太原 030051)

摘要: 为制备具有良好分散稳定性的喷雾干燥前驱体纳米 Al 悬浮液,采用机械搅拌和超声分散两种分散方法制备了纳米 Al 悬浮液,研究了纳米 Al 粉在主炸药黑索今(RDX)溶液中的分散稳定性。利用紫外可见分光光度计研究了分散速度、分散时间、超声时间、悬浮液质量浓度、分散温度、纳米铝粉的粒径等对悬浮液分散稳定性的影响,采用扫描电子显微镜(SEM)分析了喷雾干燥后样品的形貌。结果表明:选择粒径为 50~100 nm 的铝粉,当分散速度为 $400 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,分散时间为 30 min,超声时间为 3~10 min,悬浮液质量浓度为 1%,分散温度为 25 °C 时,悬浮液的吸光度值最大,分散稳定性达到最佳。

关键词: 纳米铝粉;RDX 溶液;悬浮液;分散稳定性;吸光度

中图分类号: TJ55

文献标志码: A

DOI:10.11943/CJEM2019232

1 引言

Al 粉作为一种高热值的金属添加剂,其氧化还原反应所释放出的大量热已成为提高弹药毁伤威力和射程的重要途径之一^[1]。含铝炸药因具有高密度和高爆热,在炸药和固体推进剂中已得到广泛应用^[2-3]。目前,国内外制造含铝炸药常用的方法有机械干混法、直接法^[4]、喷雾干燥法^[5]等。

喷雾干燥法制备 RDX 基含铝复合炸药的工艺过程简单,且产品成分及粒度容易控制。但纳米铝粉因具有较大的比表面积及表面活性,在悬浮液体系中的布朗运动和铝粉表面的吸附作用使得纳米铝粉很容易生成团聚,分散性很差^[6-7]。然而,含铝炸药中各组分的混合均匀程度直接影响其装药密度以及爆炸性能^[8]。因此,纳米铝粉在悬浮液中的分散效果作为影响含铝炸药的性能的重要因素之一,如何控制纳米铝粉的团聚从而制备出稳定的前驱体悬浮液是喷雾干燥实际应用中需要解决的首要问题。目前,为制备出悬浮效果较好的分散体系,国内外研究者采用众多方法

对纳米粉体的分散技术进行了研究,主要有机械搅拌法^[9]、超声波分散法^[10-11]、高能处理法、化学改性法和分散剂分散法^[12]。悬浮液分散稳定性的影响因素还有很多,如悬浮液固含量^[13]、颗粒粒径^[14]、温度^[15]、pH 值^[16]、离子强度^[17]等。但目前悬浮液在炸药领域的应用研究还很少。

为得到分散效果较好的悬浮液体系,本研究采用机械搅拌和超声分散两种分散方法制备了喷雾干燥前驱体纳米 Al 悬浮液,通过沉降实验、悬浮液吸光度值测定以及扫描电子显微镜(SEM)对部分样品形貌测试的方法,研究了纳米铝粉在主炸药 RDX 溶液中的分散稳定性,分析了分散速度、分散时间、超声时间、悬浮液质量浓度、分散温度、铝粉的粒径等对悬浮液体系分散性的影响,为喷雾干燥法制备性能优良的含铝复合炸药提供理论参考。

2 实验部分

2.1 试剂与仪器

材料:原料 RDX,中国兵器工业集团公司 805 厂;纳米铝粉(粒度为 50~100 nm、100~200 nm、200~300 nm),复朗施纳米科技;F₂₆₀₂,惠州浩源塑料有限公司;丙酮,分析纯,天津市申泰化学试剂有限公司。

仪器:B11-3 型恒温磁力搅拌器,上海司乐仪器有限公司;PS-60AL 型超声波清洗机,深圳深华泰有限公司;

收稿日期:2019-08-31;修回日期:2019-10-21

网络出版日期:2020-03-11

基金项目:基础产品创新科研项目

作者简介:李小东(1978-),男,副教授,主要从事传爆药技术研究。e-mail:lixd78@126.com

引用本文:李小东,孙红燕,杨玥,等.喷雾干燥前驱体纳米 Al 悬浮液的制备及分散稳定性[J].含能材料,2020,28(8):773-778.

LI Xiao-dong, SUN Hong-yan, YANG Yue, et al. Preparation and Dispersion Stability of Spray-drying Precursor Nano-Al Suspension[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2020, 28(8):773-778.

UV-2100型双束紫外可见分光光度计,北京瑞利分析仪器有限公司;Mira 3 LMH型扫描电镜,捷克泰思肯公司。

2.2 纳米Al悬浮液的制备

以丙酮为溶剂,采用两步法制备纳米Al悬浮液(RDX/Al/F₂₆₀₂质量比例为63:35:2),首先称取主炸药RDX放入烧杯中,按照料液质量比为2:98加入丙酮溶剂,在常温常压下使其充分溶解配制成主炸药溶液,然后按配方预设的比例加入黏结剂,再将粒径为200~300 nm的纳米铝粉加入到烧杯中,经机械搅拌和超声波分散,使纳米铝粉均匀分散在RDX丙酮溶液中,制得所需的混合均匀的悬浮液分散体系。由于铝粉的重力沉降作用,首先选择粒径为200~300 nm的铝粉进行单因素实验,确定最佳制备工艺;悬浮液质量浓度为1%、2%、3%,避免喷雾干燥过程中因悬浮液质量浓度过高导致喷嘴堵塞及铝粉在蠕动泵管中沉积;分散温度为25,35,45℃,分散温度过高会加快丙酮的挥发速度(丙酮沸点为56.5℃),影响悬浮液质量浓度及喷雾干燥实验结果。

2.3 悬浮液分散稳定性测试

采用紫外可见分光光度计测试悬浮液样品相同位置在200~800 nm波长范围内的吸光度值,以吸光度值的大小来表征悬浮液的分散性,吸光度数值越大表明悬浮液中粒子浓度越高,则粒子在悬浮液体系中的分散、悬浮及稳定性能越好^[18];采用场发射扫描电镜对悬浮液喷雾干燥制备的样品进行形貌表征。

3 结果与讨论

3.1 分散速度对悬浮液分散稳定性的影响

为了研究分散速度对纳米铝粉在RDX溶液中分散稳定性的影响,选用粒径为200~300 nm的铝粉,通过机械搅拌的方法对纳米Al悬浮液进行分散处理。图1为分散处理前后悬浮液沉降30 min的效果图,分散速度分别为0,300,400,500 r·min⁻¹,分散时间20 min;图2为悬浮液在不同分散速度分散处理后未发生沉降(0 min)以及沉降30 min后的吸光度曲线,分别用虚线和实线表示。

由图1a可以看出,悬浮液分散处理前透光可以明显看到烧杯上层有薄层清液,肉眼观测其分散性较差。从图1b~图1d可以发现,300 r·min⁻¹分散速度下烧杯底部沉淀较多,500 r·min⁻¹分散速度下烧杯沉淀次之,400 r·min⁻¹分散速度下烧杯底部沉淀最少且依然能够流动。因此,随着分散速度的增加,悬浮液的分散效果呈先变好后变坏的趋势。

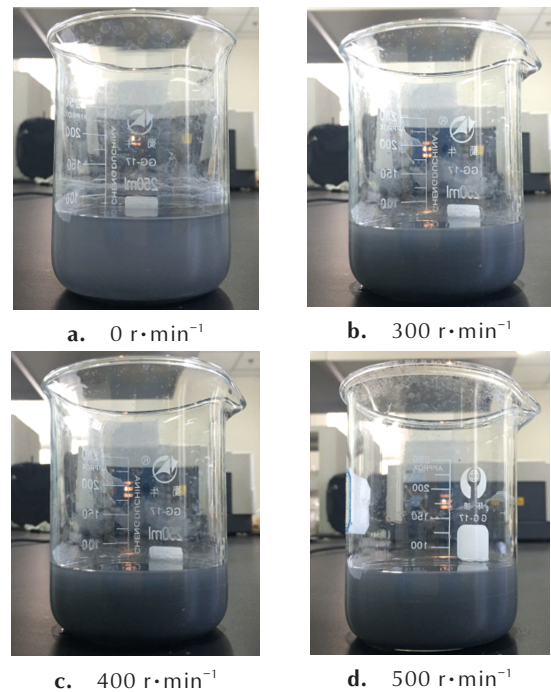


图1 分散速度对悬浮液沉降效果的影响

Fig.1 Sedimentary situations of suspension at different stirring rate

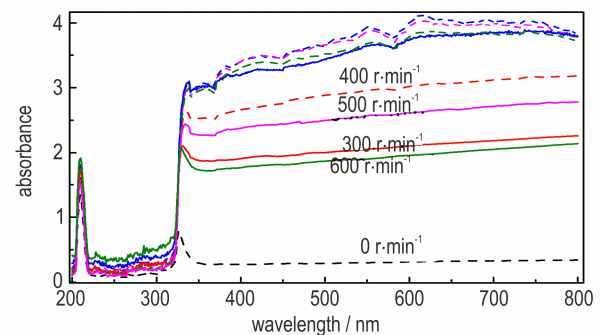


图2 分散速度对悬浮液吸光度的影响

Fig.2 Absorbance of suspension at different dispersing rate

由图2可以看出,采用机械搅拌分散处理的悬浮液的吸光度值较未处理时(0 r·min⁻¹)明显增大,且随着分散速度的提高,悬浮液的吸光度值呈现先增大后减小的趋势。对比悬浮液在30 min沉降后的吸光度曲线(实线)可以看出,当分散速度为300,500,600 r·min⁻¹时制备的悬浮液,均发生了明显的团聚沉降现象,致使悬浮液的吸光度值均有所下降;当分散速度为400 r·min⁻¹时,悬浮液的吸光度值变化最小,悬浮液分散效果相对较好。分析原因为,随着分散速度的提高,悬浮液的分散性有所提高,分散速度越快粒子碰撞与摩擦越激烈,从而体系具有更好的分散性和稳定性。然而纳米铝粉间的作用力是一定的,一味的提高转速,使粒子运动增加,容易引起新的团聚,悬浮液

的分散性变差^[19]。

3.2 分散时间对悬浮液分散稳定性的影响

为了研究分散时间对悬浮液分散稳定性的影响,选用粒径 200~300 nm 的铝粉,在不采用超声分散的情况下,选择最佳分散速度 400 r·min⁻¹ 进行分散处理,不同分散时间下悬浮液的吸光度曲线如图 3 所示。

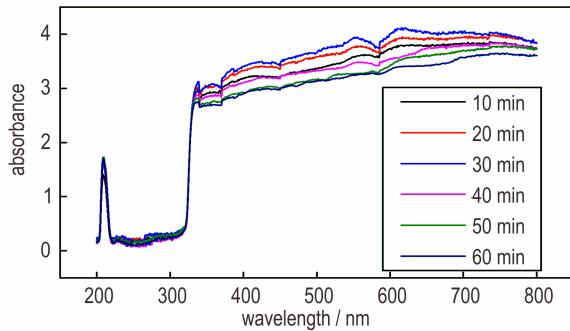


图 3 分散时间对悬浮液吸光度的影响

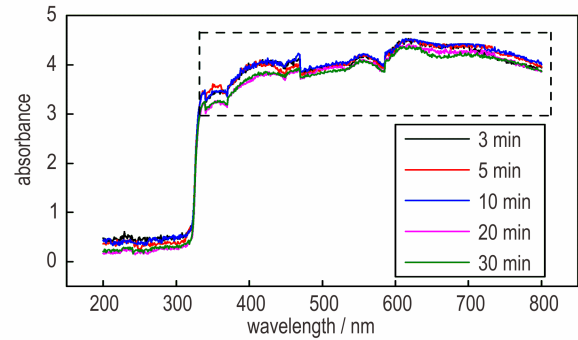
Fig.3 Absorbance of suspension after different dispersing time

由图 3 可知,悬浮液的吸光度值随着分散时间的增加先增大后减小,当分散时间为 30 min 时,悬浮液的吸光度值最大,分散效果最好。机械搅拌的目的是使纳米铝粉在 RDX 丙酮溶液中充分分散,而且随着分散时间的延长,纳米铝粉与转子碰撞接触的几率增加,团聚体被打碎的可能性增加^[19]。然而当纳米铝粉分散到一定程度时,纳米铝粉的分散作用与聚集作用达到平衡,再延长分散时间,并不能提高悬浮液的分散效果,反而容易引起新的团聚。

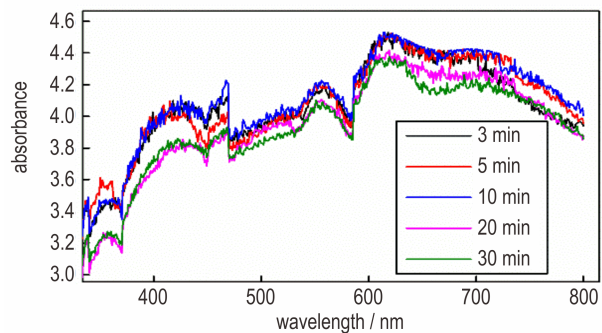
3.3 超声时间对悬浮液分散稳定性的影响

图 4 为粒径 200~300 nm 的铝粉在 RDX 丙酮溶液中 400 r·min⁻¹ 分散,不同超声时间条件下悬浮液的吸光度值。从图 4 中可以看出,悬浮液的吸光度在超声时间分别为 3, 5, 10, 20, 30 min 时数值变化不大,其中超声时间在 3~10 min 范围内,吸光度曲线几乎重合,说明在 3~10 min 以内,超声时间对悬浮液的分散效果影响不大,随着超声时间增加到 20、30 min 时,悬浮液的吸光度数值略有下降趋势,说明随着超声时间的增加悬浮液的分散性有所降低。因此,当超声时间为 3~10 min 时,悬浮液的吸光度数值相对较大,分散效果相对较好。超声分散能有效减弱纳米粒子的团聚,其主要作用机理是超声波空化作用。超声波空化产生的局部高温、高压或强冲击波、微射流等能破坏纳米粒子间的作用能,打开纳米铝粉凝聚体间的范德华力,在巨大的冲击力和微射流的作用下,颗粒的表面能被削弱,有效的防止纳米铝粉的团聚而使之充分分散,以达到分散效果^[20]。但随着超声时间的增加,悬

浮液的热能和机械能增加,纳米铝粉间的碰撞几率增加,容易进一步形成团聚体,致使悬浮液的吸光度值减小^[19]。由此可见,选择超声时间为 3~10 min,避免时间过长导致纳米铝粉的团聚。



a. original image



b. local enlargement

图 4 超声时间对悬浮液吸光度的影响

Fig.4 Absorbance of suspension after different ultrasonic time

3.4 浓度对悬浮液分散稳定性的影响

铝粉粒径为 200~300 nm,分散速度为 400 r·min⁻¹,超声时间为 10 min 时,悬浮液质量浓度与吸光度曲线的关系如图 5 所示。

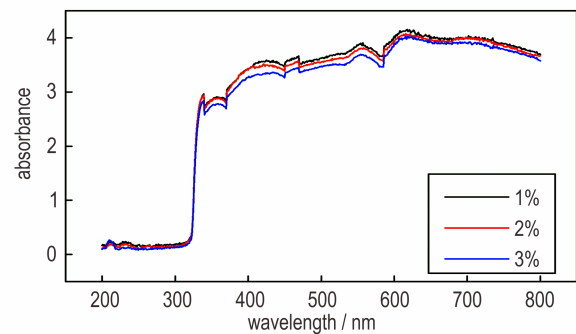


图 5 浓度对悬浮液吸光度的影响

Fig.5 Absorbance of suspension with various concentrations

利用场发射扫描电子显微镜(SEM)对喷雾干燥后样品的形貌进行观察,如图 6 所示。

图 5 为悬浮液质量浓度为 1%、2%、3% 时的吸光度

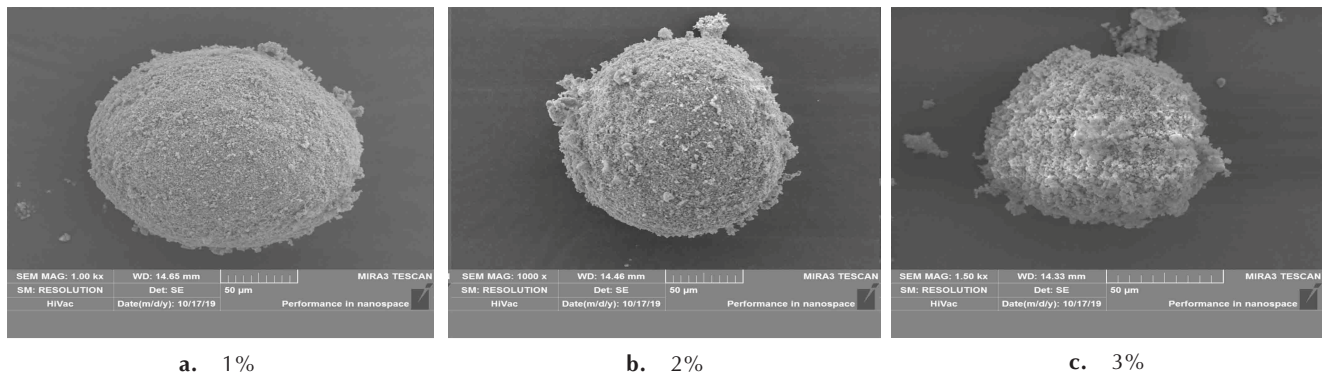


图6 不同质量浓度悬浮液喷雾干燥样品的SEM图

Fig.6 SEM images for spray-dried samples prepared from suspensions with various concentrations

曲线图,由图5可知,随着悬浮液浓度的变化,吸光度值稍有下降趋势,但变化不明显,因此结合喷雾干燥制备的样品的形貌进行分析。由图6可以看出,浓度1%时制备的样品(见图6a),表面光滑、密实,包覆效果较好;浓度为2%(见图6b)时制备的样品,表面包覆层粗糙,粘有脱落颗粒;3%浓度时制备的样品(见图6c),表面松散、凹凸不平。随着悬浮液浓度的增加,颗粒的包覆效果变差。因此,悬浮液的浓度影响纳米铝粉的分散效果。当悬浮液浓度较低时,纳米铝粉间的距离较远,粒子间的碰撞几率较低,难以形成团聚体,此时铝粉以弥散的状态分布在悬浮液中,粒子沉降的形式为单颗粒沉降;随着悬浮液浓度的升高,纳米铝粉间的距离不断减小,导致铝粉间的干涉作用增强,引起铝粉粒子的干涉沉降^[21]。因此,随着悬浮液浓度的增大,悬浮液的分散稳定性下降。

3.5 温度对悬浮液分散稳定性的影响

图7在铝粉粒径为200~300 nm,分散速度为 $400 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,超声时间为10 min,分散温度分别为25, 35, 45 °C的条件下,制备的纳米Al-RDX丙酮悬浮液的吸光度曲线。图8为不同温度条件下分散制备的样品形貌的SEM图。

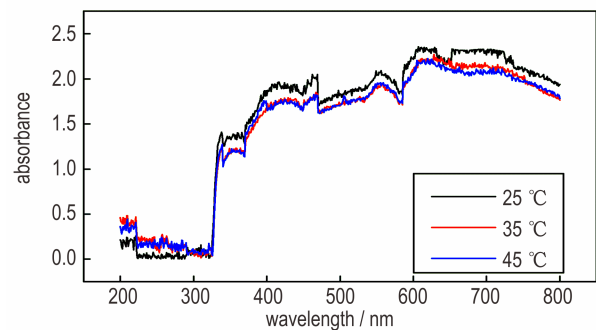


图7 温度对悬浮液吸光度的影响

Fig.7 Absorbance of suspension at various temperatures

由图7可以看出,悬浮液的吸光度值随着温度的升高略有下降。图8为不同温度条件下制备的悬浮液的喷雾干燥样品图。图8a为25 °C时分散制备的样品,颗粒大小均匀,表面包覆紧实无缺陷;图8b在35 °C分散条件下制备的颗粒表面松散、粗糙,有粒子脱落;图8c在45 °C条件下分散制备的样品的形状不规则,表面有裂纹和孔洞,包覆效果较差。因此,悬浮液的分散温度影响悬浮液的分散效果,进而影响喷雾干燥制备的样品的包覆效果。当温度为25 °C时,悬浮

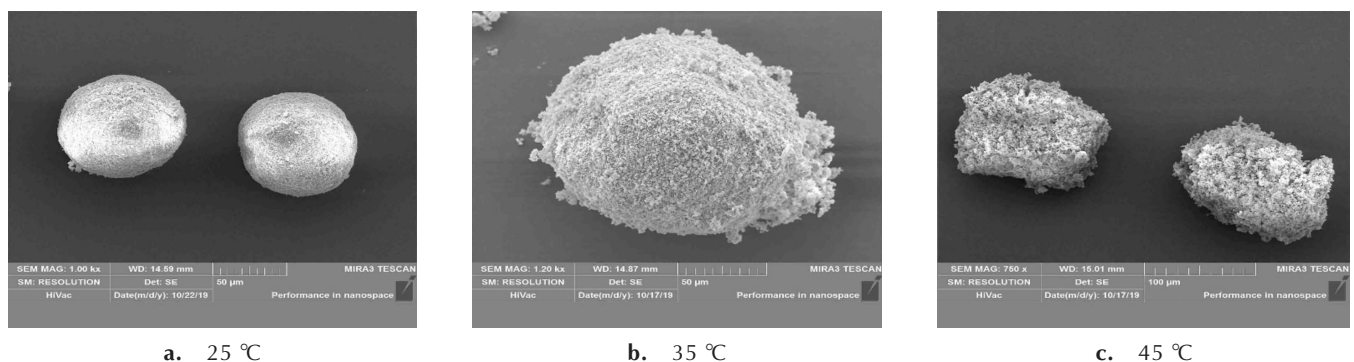


图8 不同温度条件下悬浮液喷雾干燥样品的SEM图

Fig.8 SEM images for spray-dried samples prepared at various temperatures

液中纳米铝粉的受力均匀,主要发生自然沉降;而随着温度的升高,悬浮液中纳米铝粉的热运动和布朗运动加剧,铝粉与铝粉间的碰撞几率增加,容易生成团聚而迅速沉降,致使悬浮液中纳米铝粉的分散不均匀,喷雾干燥制备的样品的包覆效果变差。所以当温度为 25 ℃时,悬浮液的分散效果最好。

3.6 铝粉粒径对悬浮液分散稳定性的影响

三种粒径的铝粉(50~100 nm、100~200 nm、200~300 nm)按照 RDX/Al/F₂₆₀₂(63/35/2)同一配比进行悬浮液的制备,悬浮液质量浓度为 1%,分散速度为 400 r·min⁻¹,超声时间为 10 min。图 9 为不同粒径纳米铝粉制备的悬浮液的吸光度曲线。

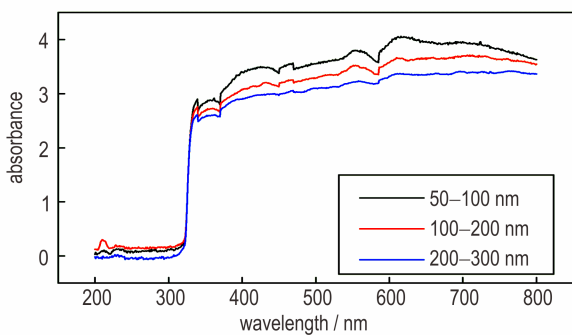


图 9 铝粉粒径对悬浮液吸光度的影响

Fig.9 Absorbance of suspension with various nano-Al particle size

由图 9 可知,随着铝粉粒径的增大,悬浮液的吸光度曲线呈下降趋势,吸光度值不断减小,且当铝粉粒径为 50~100 nm 时,悬浮液的吸光度最大。因此纳米铝粉的粒径对悬浮液的分散效果有一定的影响。

悬浮液体系中,粒子受到的沉降力 F_1 ^[14]为:

$$F_1 = \frac{1}{6} \pi d^3 (\rho - \rho_0) g \quad (1)$$

式中, ρ_0 为基液密度, $g \cdot cm^{-3}$; d 为颗粒等效直径, cm ; ρ 为颗粒密度, $g \cdot cm^{-3}$; g 为重力加速度, $N \cdot kg^{-1}$ 。

按 Stokes 定律所受沉降阻力 F_2 ^[14]为:

$$F_2 = 2\pi\eta d \bar{v}_0 \quad (2)$$

式中, η 为基液的动力黏度, $mPa \cdot s$; \bar{v}_0 为沉降速度, $m \cdot s^{-1}$;

当颗粒在悬浮液中保持稳定或者匀速下降时则有 $F_1 = F_2$, 亦即:

$$\bar{v}_0 = \frac{d^2}{18\eta} (\rho - \rho_0) g \quad (3)$$

因此,纳米铝粉在悬浮液中的沉降速度 \bar{v}_0 与铝粉的粒径平方成正比,与 RDX 丙酮溶液的动力黏度成反比,与铝粉和 RDX 丙酮溶液的密度差成正比。在基液

密度差以及基液动力粘度一定时,随着铝粉粒径的增大,纳米铝粉的沉降速度增大,不利于悬浮液的分散稳定。因此,在满足实验需求的同时,应选择较小粒径的纳米铝粉。

4 结论

(1) 悬浮液分散时分散速度、分散时间以及超声时间对分散效果影响很大,且随着分散速度的增加以及分散时间的延长,纳米铝粉在 RDX 丙酮溶液中的分散效果呈现先增后降的变化规律。当分散速度为 400 r·min⁻¹,分散时间为 30 min,超声时间为 3~10 min 时,悬浮液的分散效果最好。

(2) 悬浮液的浓度是影响悬浮液分散稳定性的重要因素,悬浮液浓度越高,吸光度值越小,喷雾干燥制备的样品的包覆效果越差。当浓度为 1% 时,悬浮液的吸光度值相对较大且喷雾干燥制备的颗粒表面光滑、密实,悬浮液的分散稳定性相对较好。

(3) 悬浮液在温度为 25 ℃时的分散效果最好。当温度升高时,纳米铝粉间的布朗运动加剧,容易引起团聚而迅速沉降。

(4) 铝粉粒径的大小影响悬浮液的分散效果,铝粉的粒径越大,沉降速度越快,悬浮液的分散稳定性越差,反之则分散效果较好。

参考文献:

- [1] 胥会祥, 李兴文, 赵凤起, 等. 纳米金属粉在火炸药中应用进展[J]. 含能材料, 2011, 19(2): 232-239.
XU Hui-xiang, LI Xing-wen, ZHAO Feng-qi, et al. Review on application of nano-metal powders in explosive and propellants[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2011, 19(2): 232-239.
- [2] 姚李娜, 王彩玲, 戴致鑫, 等. 纳米铝对 DNTF 压装混合炸药的爆热和热安定性影响[J]. 火工品, 2014, 4(3): 47-49.
YAO Li-na, WANG Cai-ling, XU Hong-tao, et al. Influence of nano-aluminum on the explosion heat and thermal stability of DNTF pressed mixed explosives[J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 2014, 4(3): 47-49.
- [3] 殷海权, 潘清, 张建亮, 等. 铝粉对炸药性能的影响[J]. 含能材料, 2004, 12(5): 318-320.
YIN Hai-quan, PAN Qing, ZHANG Jian-liang, et al. The influence of aluminum powder on explosive performance [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2004, 12(5): 318-320.
- [4] 孙业斌, 惠君明, 曹欣茂, 等. 军用混合炸药[M]. 天津: 兵器工业出版社, 1995: 483-487.
SUN Ye-bin, HUI Jun-ming, CAO Mao-ye, et al. *Military Composite Explosive*[M]. Tianjin: Arms Industry Press, 1995: 483-487.
- [5] Zhigach A N, Leipunskii I O, Berezkina N G, et al. Aluminized nitramine-based nanocomposites: Manufacturing technique and structure study [J]. *Combustion, Explosion, and*

- Shock Waves*, 2009, 45(6): 666.
- [6] 凌智勇, 张体峰, 丁建宁, 等. Cu-水纳米流体的稳定性及其粘度的实验研究[J]. 功能材料, 2011, 42(B06): 481-483.
LING Zhi-yong, ZHANG Ti-feng, DING Jian-ning, et al. Experimental study on the stability and viscosity of Cu-water nanofluids [J]. *Journal of Functional Materials*, 2011, 42 (B06): 481-483.
- [7] 袁潇, 莫松平, 陈颖, 等. 磷酸铝碟片粒径对提高二氧化钛悬浮液分散稳定性的影响[J]. 功能材料, 2017, 48(5): 5077-5083.
YUAN Xiao, MO Song-ping, CHEN Ying, et al. Enhancement of dispersion stability of TiO₂ suspensions by zirconium phosphate nanoplatelets with different diameters [J]. *Journal of Functional Materials*, 2017, 48(5): 5077-5083.
- [8] 聂成磊, 任冬云, 王晓峰, 等. 双螺杆挤出炸药模拟物的流场模拟分析及实验研究[J]. 火炸药学报, 2014, 37(5): 85-90.
NIE Cheng-lei, REN Dong-yun, WANG Xiao-feng, et al. Simulation and experimental study on flow behavior of simulant explosive composites during twin-screw extrusion [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2014, 37(5): 85-90.
- [9] 刘甲, 张林进, 叶旭初. ZnO 微粒在水体系中的分散性能[J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 2010, 32(5): 59-63.
LIU Jia, ZHANG Lin-jin, YE Xu-chu. Dispersion properties of micropowder zinc oxide in aqueous system [J]. *Journal of Nanjing University of Technology (Natural Science Edition)*, 2010, 32(5): 59-63.
- [10] 孙玉利, 左敦稳, 王宏宇, 等. 表面活性剂对纳米CeO₂在水介质中分散性能的影响[J]. 南京航空航天大学学报, 2011, 43(1): 71-74.
SUN Yu-li, ZUO Dun-wen, WANG Hong-yu, et al. Effect of surfactants on dispersing properties in water suspension for CeO₂ nanopowders [J]. *Journal of Natural University of Aeronautics & Astronautics*, 2011, 43(1): 71-74.
- [11] Chen Y, Li Z, Zhao Y. Purification and dispersibility of multi-walled carbon nanotubes in aqueous solution [J]. *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 2016, 90(13): 2619-2624.
- [12] 税安泽, 张永伟, 刘平安, 等. 氧化铝悬浮液的分散行为及其影响因素研究[J]. 材料导报, 2010, 24(1B): 81-84.
SHUI An-ze, ZHANG Yong-wei, LIU Ping-an, et al. Study on dispersion behavior and its influence factors for alumina suspension [J]. *Materials Review*, 2010, 24(1B): 81-84.
- [13] 梅丽, 吴秋芳, 高玮. 亚微米级 α-氧化铝水悬浮液稳定性与沉降研究[J]. 无机盐工业, 2019, 51(1): 78-81.
MEI Li, WU Qiu-fang, GAO Wei. Stability and settlement of sub-micron α-alumina aqueous suspensions [J]. *Inorganic Chemicals Industry*, 2019, 51(1): 78-81.
- [14] 徐小娇, 刘妮, 王玉强, 等. 纳米流体悬浮液稳定性的最新研究进展[J]. 流体机械, 2012, 40(10): 4-49.
XU Xiao-jiao, LIU Ni, WANG Yu-qiang, et al. Review of latest developments on stability of nanofluids [J]. *Fluid Machinery*, 2012, 40(10): 4-49.
- [15] Binner J G P, Murfin A M. The effect of temperature, heating method and state of dispersion on the vacuum filter casting of alumina suspensions [J]. *Journal of the European Ceramic Society*, 1998, 18(7): 791-798.
- [16] Lopez M C B, Rand B, Riley F L. Polymeric stabilisation of aqueous suspensions of barium titanate. Part I: Effect of pH [J]. *Journal of the European Ceramic Society*, 2000, 20(10): 1579-1586.
- [17] 李登好, 郭露村. 超细氧化铝水悬浮液分散稳定性研究[J]. 硅酸盐通报, 2005, 24(1): 36-40.
LI Deng-hao, GUO Lu-cun. Study on the stability of superfine α-Al₂O₃ suspensions with polyelectrolyte [J]. *Bulletin of the Chinese Ceramic Society*, 2005, 24(1): 36-40.
- [18] 赵光好, 周新木, 徐招弟, 等. 纳米二氧化锆悬浮液分散稳定性研究[J]. 无机盐工业, 2006, 38(1): 23-25.
ZHAO Guang-hao, ZHOU Xin-mu, XU Zhao-di, et al. The study on the dispersion and stability of ZrO₂ nanoparticles suspension [J]. *Inorganic Chemicals Industry*, 2006, 38(1): 23-25.
- [19] 丁虹. 纳米粉体水悬浮液的制备及其在外墙涂料中的应用研究 [D]. 重庆大学, 2005.
DING Hong. Preparation of Nanoparticle aqueous suspension and its application in exterior wall coatings [D]. Chongqing University, 2005.
- [20] 魏攀. 纳米Al₂O₃水相悬浮液的分散性研究 [D]. 西安建筑科技大学, 2010.
WEI Pan. The Study on the Dispersion and Stability of Al₂O₃ nanoparticles aqueous suspension [D]. Xi'an University of Architecture and Technology, 2010.
- [21] 周邵萍, 张杰, 葛晓陵, 等. 浓度对超细钛白悬浮液结构及沉降性的影响[J]. 硅酸盐通报, 2009, 28(1): 21-26.
ZHOU Shao-ping, ZHANG Jie, GE Xiao-ling, et al. The influence of concentration on the suspension structure and particle sedimentation of TiO₂ [J]. *Bulletin of the Chinese Ceramic Society*, 2009, 28(1): 21-26.

Preparation and Dispersion Stability of Spray-drying Precursor Nano-Al Suspension

LI Xiao-dong, SUN Hong-yan, YANG Yue, SONG Chang-gui, LIU Hui-min, WANG Jing-yu

(School of Environment and Safety Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: To prepare spray-drying precursor nano-Al suspension with good dispersion stability, nano-Al suspension was prepared by mechanical stirring and ultrasonic dispersion, and the dispersion stability of nano-Al in RDX solution was investigated. Based on the measurement of ultraviolet spectrophotometer, the effects of dispersion rate, dispersion time, ultrasonic time, temperature and nano-Al particle size were systematically studied. The microphology structure of spray-drying samples were analyzed by scanning electron microscopy. The results showed that the aluminum powders with particle size of 50-100 nm, the best dispersion stability was achieved at the following conditions: stirring rate of 400 r·min⁻¹, dispersion time of 30 min, ultrasonic time of 3-10 min, suspension concentration of 1%, temperature of 25 °C.

Key words: nano aluminum; RDX solution; suspension; dispersion stability; absorbance

CLC number: TJ55

Document code: A

DOI: 10.11943/CJEM2019232

(责编:姜梅)