

文章编号: 1006-9941(2017)12-1031-06

偏二甲肼悬浊液电流变特性的实验研究

武冠杰¹, 胡松启¹, 刘凌毅¹, 任全彬¹, 于秀丽², 胡声超², 高峰¹, 张教强¹

(1. 西北工业大学 燃烧、流动和热结构国家级重点实验室, 陕西 西安 710072; 2. 北京宇航系统工程研究所, 北京 100076)

摘要: 采用混合绝缘油的方法改善了偏二甲肼(UDMH)弱绝缘特性, 实现了UDMH悬浊液的电流变效应。利用电流变测试装置对UDMH悬浊液进行实验研究, 分析不同电场强度和藻酸介质含量对UDMH悬浊液电流变特性的影响。结果表明, 悬浊液在无电场和有电场下的质量流率均随介质质量分数增加而减少, 但变化趋势不同; 随介质质量分数增加, 无电场时质量流率不断减少, 而有电场时质量流率趋于定值, 此值受电场强度和介质质量分数相互作用影响; 5%UDMH含量的悬浊液, 在藻酸介质含量30%、电场强度 $2\text{ kV}\cdot\text{mm}^{-1}$ 时的电流变效应最佳; 偏二甲肼含量对UDMH悬浊液绝缘性有很大影响, 其含量小于15%的悬浊液都可实现电流变效应。

关键词: 液体火箭推进剂; 偏二甲肼(UDMH); 电场强度; 电流变特性

中图分类号: TJ55; V511

文献标志码: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2017.12.010

1 引言

偏二甲肼(UDMH)作为性能优良的高能液体燃料^[1-2], 在许多液体火箭发动机内都有广泛应用。由于其常温液态储存、易燃易爆及腐蚀性强等特性, 导致其长期储存与长途运输较为困难^[3-4]。因此, 采取新方法和途径来实现偏二甲肼的储存和运输显得尤为紧要。电流变技术^[5-7]是一种通过电场连续可逆地调节流体的流变特性的技术, 具有响应迅速、连续可控、调节范围广等优点。将电流变技术应用到液体火箭推进剂中, 通过加入电场使偏二甲肼从液相转化为凝相, 可大大降低偏二甲肼的腐蚀性和危险性, 能够解决液体推进剂运输难题, 可以使液体推进剂长期储存在导弹/火箭储箱内, 实现快速发射。因而, 研究偏二甲肼的电流变特性对其在军事和航天领域的使用和发展具有现实意义。

Winslow^[8]在1947年首次提出电流变效应, 他将半导体介质粉末均匀混合在绝缘液体内, 在电场强度为 $3\text{ kV}\cdot\text{mm}^{-1}$ 的外加电场下, 悬浮液的粘度增加了几个数量级。Hao^[9]研究介质颗粒的介电损耗对电流变效应的影响, 当介质颗粒的介电损耗超过某个临界

值时会引起介质热运动, 有利于成纤化结构的形成, 从而实现电流变效应, 但介电损耗过大反而会破坏成纤化结构。茅海荣^[10]通过将沸石介质加入50#硅油制备电流变液, 研究电流变液的抗压强度与剪切屈服应力, 得到在外加电场下电流变液的抗压强度远远大于相同电场强度下的剪切屈服应力, 但未研究沸石介质的含量对电流变特性的影响。

本研究将电流变技术应用到偏二甲肼中, 利用电流变测试系统对制备的偏二甲肼悬浊液电流变特性进行实验研究, 分析介质质量分数、电场强度和偏二甲肼含量等因素对UDMH悬浊液电流变特性的影响规律, 以期将电流变技术应用到液体火箭推进剂的储存和运输奠定基础。

2 电流变特性实验装置原理及组成

2.1 实验原理

利用电流变液在高压电场下表观粘度大幅提升的基本特征, 测试偏二甲肼悬浊液的质量流率变化, 从而表征悬浊液的电流变特性。

测试原理参考运动粘度测试方法^[11-12], 由于重力和液体层间内摩擦力的相互作用, 流体在一定速度下将受力平衡做匀速运动。同时电极板通道截面为长宽比很大的矩形, 所以将矩形通道近似看作两平行板通道。根据以上假设分析可以把电极通道内悬浊液流动过程转化为两平行板间匀速流动模型。其受力分析如

收稿日期: 2017-07-07; 修回日期: 2017-09-01

基金项目: 航天科技一院高校联合创新基金(CALT201510)

作者简介: 武冠杰(1990-), 男, 博士研究生, 主要从事火箭推进剂研究。e-mail: incampus@sina.com

图 1 所示。

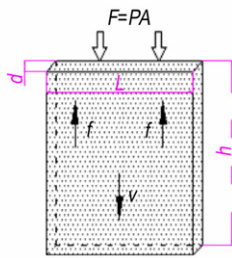


图 1 电极通道内悬浊液受力分析

Fig. 1 The force analysis of suspension in electrode channel

按图 1 所示,在电极板通道内,单位面积的悬浊液受重力作用在上下液面间产生一个压力差 ρ ,在通道截面积 A 内形成驱动力 F ,使悬浊液向下加速运动。根据牛顿粘滞定律,粘性流体作层流运动时,各层流动的速度不同,相邻两层之间存在内摩擦力 f ,随着速度增加内摩擦力 f 也不断增加。最终在一定速度 v 下,悬浊液会达到受力平衡,即内摩擦力 f 与驱动力 F 相等,悬浊液以速度 v 匀速向下运动。

以两极板中间面为基准面,前后各取 δ 厚的流体层,根据牛顿粘滞定律,该流体层前后两面受到内摩擦力 f 为^[13]:

$$f = -2\eta Lh \frac{dv}{d\delta} \quad (1)$$

式中, η 为粘度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$; L 为通道宽度, m ; h 为通道长度, m ; $\frac{dv}{d\delta}$ 为前后面的速度梯度。

在速度 v 下,流体达到受力平衡,内摩擦力 f 与驱动力 F 相等。由此得到平衡方程:

$$\rho\delta L = \rho gh\delta L = -2\eta Lh \frac{dv}{d\delta} \quad (2)$$

式中, ρ 为极板上下面压差, Pa ; g 为重力加速度, $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$; ρ 为液体密度, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

根据边界条件,当 $\delta = \pm \frac{d}{2}$ 时 $v=0$,可以解出流体速度分布方程:

$$v = \frac{\rho g}{4\eta} \left(\frac{d^2}{4} - \delta^2 \right) \quad (3)$$

从式(2)中可以看出两板间流体的速度分布,那么流经通道的质量流率 Q 为:

$$Q = 2 \int_0^{\frac{d}{2}} v \rho d\delta = \frac{\rho^2 g L d^3}{24\eta} \quad (4)$$

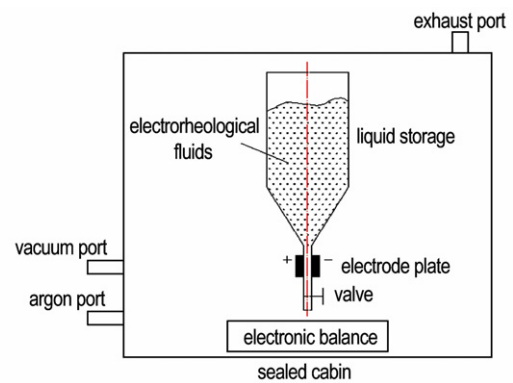
得到:

$$\eta = \frac{\rho^2 g L d^3}{24 Q h} \quad (5)$$

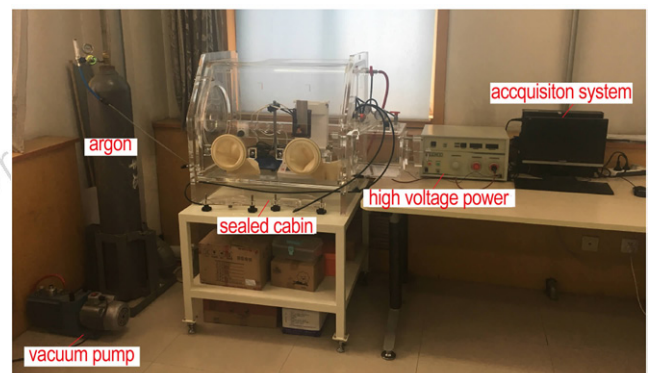
式(4)中装置参数 L, h, d 和液体密度 ρ 保持不变,因此粘度 η 与质量流率 Q 呈反比。所以,可用质量流率 Q 代替表观粘度表征悬浊液电流变特性。

2.2 实验装置

根据偏二甲肼特性设计电流变测试装置,主要包括三个模块:电流变效应模块、质量实时测试模块和真空实验舱。电流变效应模块的作用是产生电场和提供粘度测试的通道;质量实时测试模块的作用是测量偏二甲肼各时刻的流出质量,通过对比无电场和有电场下流出质量曲线来表征悬浊液电流变特性;真空实验舱的作用是隔绝测试过程中偏二甲肼与空气和人的接触,提高实验安全性。根据设计方案,搭建出偏二甲肼悬浊液电流变效应测试系统,结构示意图如图 2a 所示,实验装置如图 2b 所示。



a. structure diagram



b. scene photography

图 2 偏二甲肼电流变特性实验测试系统

Fig. 2 Experimental test system of UDMH electrorheological characteristics

2.3 实验系统可靠性测试

采用图 2 装置测试藻酸-液体石蜡悬浊液在电场强度分别为 $0, 1, 2 \text{ kV} \cdot \text{mm}^{-1}$ 时的电流变特性,每种电压均测试两次。实验中,分别选择在测试开始后

260 s 关闭 $1 \text{ kV} \cdot \text{mm}^{-1}$ 测试电场, 550 s 左右关闭 $2 \text{ kV} \cdot \text{mm}^{-1}$ 测试电场, 测试液的流出质量曲线如图 3 所示。图 3 中, 横坐标为时间 t , 纵坐标为悬浊液流入玻璃皿内的总质量 M , 其中质量曲线的斜率即为悬浊液流出的质量流率 Q 。

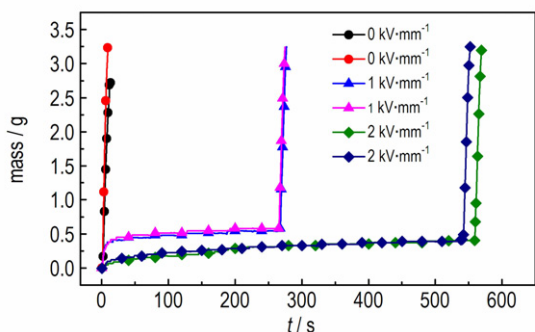


图 3 藻酸-石蜡油悬浊液流出质量曲线
Fig.3 The flow mass curves of alginate-paraffin oil suspension

从图 3 可以看出, 相同电场强度所测流出质量曲线斜率一致, 说明质量流率 Q 相同, 证明该电流变测试系统具有很好的重复性; 不同电场强度所测质量流出曲线存在巨大差异且电场强度越高其质量流率越小, 此与 Winslow^[8] 发现电场强度对电流变特性影响规律相同, 说明所研制的电流变测试系统能有效的测试出电流变特性。

3 偏二甲肼悬浊液电流变特性测试

偏二甲肼存在绝缘性弱的特性, 不利于实现电流变效应。针对偏二甲肼的这一特性, 采用混合绝缘油的方法, 将绝缘液体石蜡与偏二甲肼混合作为基液, 并以藻酸作为介质, 配置出偏二甲肼悬浊液, 研究藻酸介质质量分数、电场强度和偏二甲肼含量对偏二甲肼悬浊液电流变效应的影响规律。

3.1 藻酸介质含量和电场强度对电流变特性影响

配制 4 种偏二甲肼悬浊液, 其中只改变藻酸介质和液体石蜡的质量分数, 确保偏二甲肼含量不变, 具体配方如表 1 所示。

表 1 偏二甲肼悬浊液配比

Table 1 Formulation of UDMH suspension %

alginate acid	paraffin oil	UDMH
10	85	5
20	75	5
30	65	5
40	55	5

电流变测试中, 4 种偏二甲肼悬浊液在电场强度分别为 $0, 1, 2 \text{ kV} \cdot \text{mm}^{-1}$ 的实验结果, 如图 4 所示。

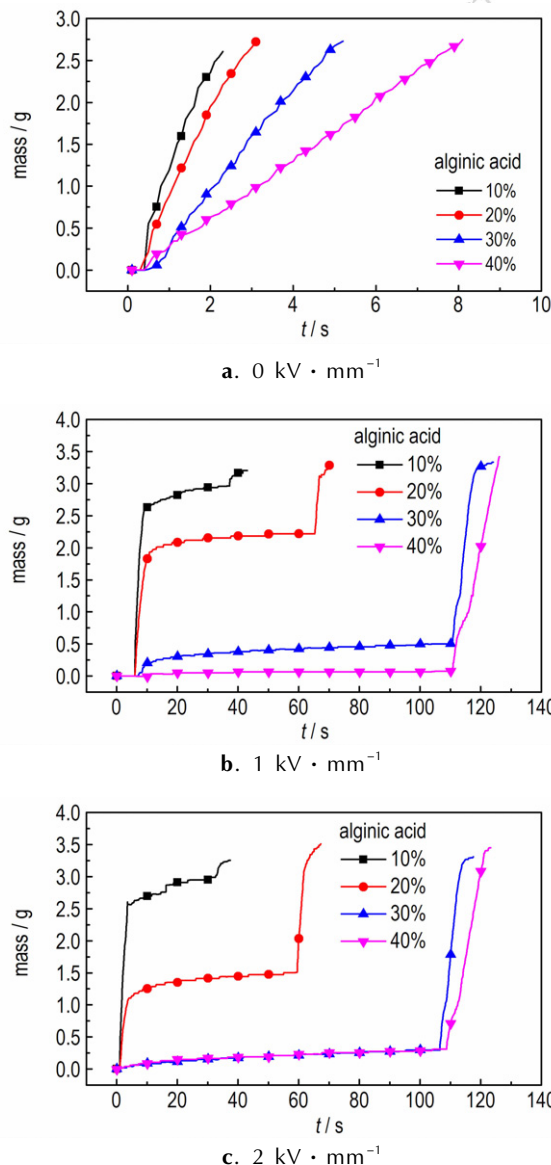


图 4 不同电场下的偏二甲肼悬浊液流出质量曲线
Fig.4 The flow mass curves of UDMH suspension under different electric field

从图 4 可以看出, 提升藻酸介质质量分数能降低各电场下偏二甲肼悬浊液的质量流率, 但质量流率的变化幅度不断减少。由于电流变特性的主要衡量标准是电场作用下力学性能的变化量, 综合藻酸介质质量分数在各电场下质量流率的影响规律得到, 当藻酸介质质量分数较低时 (介质含量小于 30%), 在高电场强度下质量流率的变化量大于低电场下的变化量, 提升介质质量分数可以增加悬浊液电流变特性; 但当介质质量分数过高时 (介质含量大于 30%), 则与之相反。

实验发现藻酸介质质量分数为 30% 时, 5% 偏二甲肼含量的悬浊液电流变特性综合性能最佳。

3.2 偏二甲肼含量对悬浊液电流变特性影响

由于偏二甲肼存在弱绝缘性, 偏二甲肼含量对悬浊液绝缘性影响较大。在一定电场下, 偏二甲肼含量较高的悬浊液会产生较大的电流, 造成电源无法运行, 甚至会发生反应生成气体。当偏二甲肼含量超过 15% 时, 悬浊液在一定电场下都会发生反应产生气泡, 图 5 为 30% 偏二甲肼含量的悬浊液在电场强度 $2 \text{ kV} \cdot \text{mm}^{-1}$ 的反应图。



图 5 电场下偏二甲肼悬浊液反应图

Fig.5 The reaction photo of UDMH suspensions in electric field

为了保证实验正常进行, 将电流密度为 $200 \mu\text{A} \cdot \text{cm}^{-2}$ 时的电场强度作为电流变测试场强。由于不同偏二甲肼含量的悬浊液电阻不同, 因而在相同电流密度的情况下, 施加的电压强度有所不同。表 2 为含量 20% 的藻酸与不同含量液体石蜡和 UDMH 的悬浊液配比和实验参数。

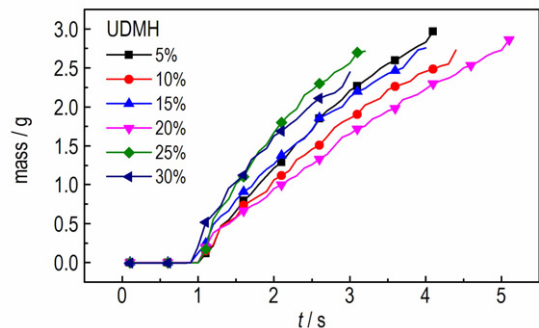
表 2 偏二甲肼含量不同的悬浊液配比和实验参数

Table 2 Formulation and experimental parameters of suspensions with different UDMH contents

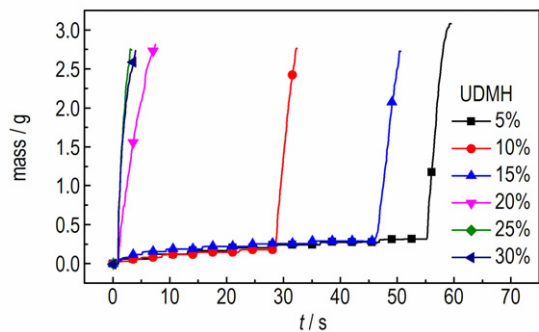
alginate acid /%	paraffin oil /%	UDMH /%	electric field intensity / $\text{kV} \cdot \text{mm}^{-1}$
20	75	5	2
20	70	10	1.45
20	65	15	0.96
20	60	20	0.40
20	55	25	0.27
20	50	30	0.17

图 6a 为偏二甲肼悬浊液零电场下的流出质量曲线, 可以看出偏二甲肼含量变化对悬浊液零电场质量流率影响较小, 无电场时悬浊液质量流率主要由绝缘油粘度和介质质量分数决定。图 6b 为偏二甲肼悬浊液在有电场下的流出质量曲线, 可以看出偏二甲肼质

量分数为 5%、10%、15% 的悬浊液存在明显的电流变效应, 而 20%、25%、30% 悬浊液不存在电流变效应。这是由于偏二甲肼含量较高, 降低了悬浊液的绝缘性, 使可以施加的电场强度过低, 无法达到电流变效应临界电场强度。因此, 提升高含量偏二甲肼悬浊液的绝缘性对实现其电流变效应尤为重要。



a. no electric field



b. electric field ($1 \text{ kV} \cdot \text{mm}^{-1}$)

图 6 有无电场下不同偏二甲肼含量的悬浊液流出质量曲线

Fig.6 The flow mass curves of suspension with different UDMH contents with in and without electric field

3.3 15% 偏二甲肼悬浊液电流变特性实验

根据实验, 发现偏二甲肼含量低于 15% 时可以实现电流变效应, 因此进一步研究偏二甲肼含量为 15% 的悬浊液中藻酸介质含量对其电流变效应的影响。表 3 为偏二甲肼含量 15% 的悬浊液配比表。

表 3 偏二甲肼含量 15% 的悬浊液配方

Table 3 Formulation of suspensions of UDMH content as 15%

alginate acid	paraffin oil	UDMH	alginate acid	paraffin oil	UDMH
0	85	15	15	70	15
5	80	15	20	65	15
10	75	15	25	60	15

电流变测试中, 6 种不同藻酸含量的偏二甲肼悬

浊液在电场强度 $1 \text{ kV} \cdot \text{mm}^{-1}$ 下的实验结果,如图 7 所示。

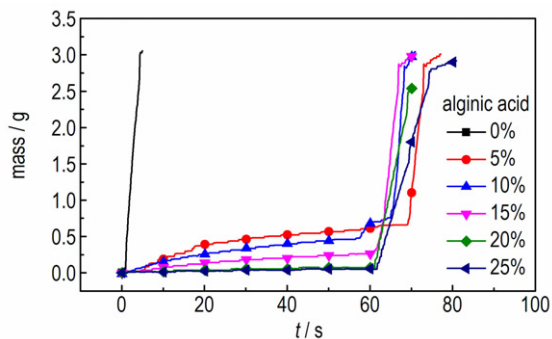


图 7 不同藻酸含量的悬浊液流出质量曲线

Fig.7 The flow mass curves of suspension with different alginic acid contents

由图 7 可知,6 种悬浊液的质量流率随藻酸介质含量的增大而减小,可见在一定范围内随着藻酸含量的提高悬浊液的粘度不断增加。但藻酸含量为 20% 和 25% 的电流变液其流出速率基本一致,说明偏二甲肼含量为 15% 的悬浊液在藻酸含量超过 20% 后,再增加藻酸介质含量对悬浊液的电流变特性影响不明显。同时,藻酸含量为 0% 的悬浊液并未发生电流变效应,可见 15% 偏二甲肼含量的悬浊液添加藻酸介质是非常必要的,最佳藻酸含量为 20%。

4 总结

(1) 偏二甲肼的弱绝缘性不利于实现电流变效应,提升偏二甲肼基液绝缘性是配制出高含量偏二甲肼电流变液的关键,而采用混合悬浊液的方法大幅提升了基液的绝缘特性,实现了偏二甲肼悬浊液电流变效应。

(2) 无电场下和有电场下,偏二甲肼悬浊液质量流率均随藻酸介质质量分数的增加而减小,但在电场下由于电流变效应,悬浊液质量流量会随藻酸介质质量分数的增加趋于稳定。

(3) 偏二甲肼含量超过 15% 的悬浊液在一定电场下会产生较大电流,并产生气泡,但其含量小于 15% 的悬浊液都可实现电流变效应。

参考文献:

[1] 张有智,李正莉,王焯军. 偏二甲肼制备低熔点胺基胍酰胺的实验研究[J]. 含能材料, 2009, 17(4): 478-481.
ZHANG You-zhi, LI Zheng-li, WANG Xuan-jun. Preparation of low meltingpoints aminimide from unsymmetrical dimethylhydrazine[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2009, 17(4): 478-481.

[2] 徐泽龙,张立清,赵冰,等. 过氧化氢增强紫外-臭氧降解偏二甲肼[J]. 含能材料, 2016, 24(12): 1168-1172.
XU Ze-long, ZHANG Li-qing, ZHAO Bing, et al. Degradation of unsymmetrical dimethylhydrazine waste water by hydrogen peroxide enhanced UV-Ozone process[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2016, 24(12): 1168-1172.

[3] 王力,张光友,谭世语,等. 偏二甲肼污水的处理技术现状与发展趋势[J]. 导弹与航天运载技术, 2006, 281(1): 38-43.
WANG Li, ZHANG Guang-you, TAN Shi-yu, et al. Development and status of treatment processes of wastewater containing unsymmetrical dimethylhydrazine[J]. *Missile and Space Vehicle*, 2006, 281(1): 38-43.

[4] 范俊芳. TG₁ 型偏二甲肼铁路罐车的研制[J]. 铁道车辆, 2015, 53(1): 14-16.
FAN Jun-fang. The development of TG₁ type UDHM railway tanker[J]. *Rolling Stock*, 2015, 53(1): 14-16.

[5] 张志宇,吴博达. 电流变技术的发展与应用[J]. 机床与液压, 2007, 35(6): 203-207.
ZHANG Zhi-yu, WU Bo-da. Development and Application of Electrorheological technology[J]. *Machine Tool Hydraulics*, 2007, 35(6): 203-207.

[6] 陈爱军,廖昌荣,余森. 电磁流变液流变特性测试技术的研究进展[J]. 机械工程材料, 2005, 29(1): 1-3.
CHEN Ai-jun, LIAO Chang-rong, YU Miao. Developments of research in rheological property measurements of electrorheological or magnetorheological fluids[J]. *Materials for Mechanical Engineering*, 2005, 29(1): 1-3.

[7] 尹剑波. 稀土掺杂对二氧化钛和钛酸钡电流变行为的影响[D]. 西安:西北工业大学, 2001.
YIN Jian-bo. Effect of rare earth doping on the electrorheological behavior of titanium dioxide and barium titanate [D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2001.

[8] Winslow W M. Induced fibrillation of suspensions[J]. *Journal of Applied Physics*, 1949, 20(12): 1137-1140.

[9] Hao Tian. The role of the dielectric loss of dispersed material in the electrorheological effect [J]. *Applied Physics Letters*, 1997, 70(15): 1956-1958.

[10] 茅海荣,孟永钢,田煜. 电流变液抗压效应的实验研究[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2002, 42(11): 1441-1443.
MAO Hai-rong, MENG Yong-gang, TIAN Yu. Compression resistance of electrorheological fluid[J]. *Journal of Tsinghua University (Science and Technology)*, 2002, 42(11): 1441-1443.

[11] Davis L C. Polarization forces and conductivity effects in electrorheological fluids [J]. *Journal of Applied Physics*, 1992, 72(4): 1334-1340.

[12] Moccellini R R, Lambri O A, Bonifacich F G, et al. Electro-rheological description of solids dielectrics exhibiting electrostriction[J]. *IEEE Transactions on Dielectrics & Electrical Insulation*, 2016, 23(5): 2993-3006.

[13] 林建忠,阮晓东,陈邦国,等. 流体力学[M]. 北京:清华大学出版社, 2005: 7-9.
LIN Jian-zhong, RUAN Xiao-dong, CHEN Bang-guo, et al. Fluid Mechanics [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005: 7-9.

Experimental Investigation on Electrorheological Characteristics of UDMH Suspension

WU Guan-jie¹, HU Song-qi¹, LIU Ling-yi¹, REN Quan-bin¹, YU Xiu-li², HU Sheng-chao², GAO Feng¹, ZHANG Jiao-qiang¹

(1. National Key Laboratory of Combustion, Flow and Thermo-structure, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China; 2. Beijing Institute of Aerospace System Engineering, Beijing 100076, China)

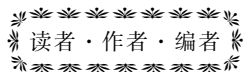
Abstract: The weak insulation characteristics of unsymmetric dimethyl hydrazine (UDMH) were improved by means of mixing with the insulating oil, which realized the electrorheological effect of UDMH suspension. The experimental study of UDMH suspension was conducted by an electrorheological test device, and the effects of different electric field intensity and alginate medium contents on the electrorheological characteristics of UDMH suspension were analyzed. The results show that, the mass flow rate of suspension decreases with increasing the medium mass fraction within and without electric field, but their variation trend is different. With the increase of the medium mass fraction, the mass flow rate without electric field decreases continuously, while the mass flow rate within electric field tends a fixed value, whose value is affected by the interaction of electric field intensity and medium mass fraction. When the content of alginate is 30% and the electric field intensity is 2 kV · mm⁻¹, the electrorheological effect for the suspension with 5% UDMH is the best. The content of UDMH has a great influence on the suspension insulation, and the suspension in which UDMH content is less than 15%, can achieve the electrorheological effect.

Key words: liquid rocket propellant; unsymmetric dimethyl hydrazine (UDMH); electric field intensity; electrorheological characteristics

CLC number: TJ55; V511

Document code: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2017.12.010



向审稿人致谢

2017年,在各级领导的关心和各位同行专家的帮助下,本刊得以顺利出版发行,为此,编辑部特向在2016年11月15日~2017年11月30日为本刊审阅稿件的各位审稿人(以汉语拼音为序)致谢!

- | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 安立超 | 白颖伟 | 毕福强 | 曹端林 | 曹伟 | 曹卫国 | 曹一林 | 常新龙 | 陈捷 | 陈清畴 | 陈小伟 | 陈雄 | 陈智群 |
| 程广斌 | 池旭辉 | 初凤红 | 褚恩义 | 丛昱 | 代晓淦 | 邓剑如 | 邓琼 | 董海平 | 董奇 | 杜忠华 | 段晓惠 | 段卓平 |
| 樊学忠 | 范春华 | 范桂娟 | 方秦 | 方文军 | 方向 | 房旷 | 冯顺山 | 冯晓军 | 冯增国 | 付一政 | 高大元 | 高红旭 |
| 葛红光 | 葛忠学 | 龚俊波 | 贡雪东 | 苟瑞君 | 谷岩 | 郭效德 | 韩克华 | 韩勇 | 何吉宇 | 何卫东 | 何璇 | 贺孝军 |
| 洪滔 | 胡春波 | 胡建新 | 胡岚 | 胡荣祖 | 胡松启 | 黄亨建 | 黄靖伦 | 黄明 | 黄平 | 黄文尧 | 黄西成 | 黄希桥 |
| 黄寅生 | 黄振亚 | 黄正祥 | 黄志萍 | 姬广富 | 贾宛振 | 姜炜 | 蒋建伟 | 蒋榕培 | 蒋小华 | 蒋新广 | 解立峰 | 金柯 |
| 居学海 | 李高春 | 李洪珍 | 李吉祯 | 李加荣 | 李金山 | 李敬明 | 李军 | 李丽洁 | 李亮亮 | 李明 | 李生华 | 李世鹏 |
| 李伟兵 | 李亚南 | 李战雄 | 廖昕 | 简向阳 | 刘波 | 刘大斌 | 刘建青 | 刘建忠 | 刘健峰 | 刘佩进 | 刘少武 | 刘亚青 |
| 刘英哲 | 刘渝 | 刘玉存 | 龙源 | 卢斌 | 卢芳云 | 卢先明 | 鲁国林 | 陆明 | 路中华 | 罗景润 | 罗军 | 罗运军 |
| 马海霞 | 马宏昊 | 马小兵 | 马中亮 | 门建兵 | 孟征 | 孟子晖 | 米镇涛 | 缪云坤 | 倪培君 | 聂福德 | 潘功配 | 潘仁明 |
| 庞爱民 | 庞思平 | 庞维强 | 裴重华 | 钱立新 | 强洪夫 | 乔小晶 | 秦凤 | 冉秀伦 | 邵自强 | 沈瑞琪 | 盛涤伦 | 宋锦泉 |
| 宋浦 | 孙成辉 | 孙杰 | 孙占峰 | 谭碧生 | 唐承志 | 唐维 | 田勇 | 涂小珍 | 万代红 | 汪斌 | 汪营磊 | 王伯良 |
| 王伯周 | 王凤英 | 王桂香 | 王海福 | 王建龙 | 王金相 | 王晶禹 | 王军 | 王亮 | 王宁飞 | 王树山 | 王渭娜 | 王晓 |
| 王晓峰 | 王新德 | 王焯军 | 王玄玉 | 王彦平 | 王占江 | 王肇中 | 王哲君 | 王志军 | 韦兴文 | 魏光辉 | 魏学涛 | 温茂萍 |
| 温玉全 | 文尚刚 | 吴婉娥 | 吴文辉 | 吴耀国 | 吴玉凯 | 武双章 | 肖继军 | 肖金武 | 肖正刚 | 熊鹰 | 胥会祥 | 徐抗震 |
| 徐瑞娟 | 徐颖 | 徐泽龙 | 徐志祥 | 严楠 | 严启龙 | 杨光成 | 杨建兴 | 杨立军 | 杨荣杰 | 杨毅 | 杨宗伟 | 姚维尚 |
| 姚熊亮 | 叶小军 | 叶迎华 | 叶志文 | 仪建华 | 易文斌 | 尹建平 | 应三九 | 余永刚 | 郁卫飞 | 袁俊明 | 袁志华 | 曾贵玉 |
| 翟茂林 | 张朝阳 | 张存林 | 张皋 | 张国防 | 张洪林 | 张建国 | 张建军 | 张江波 | 张蒙正 | 张奇 | 张庆华 | 张庆明 |
| 张同乘 | 张为华 | 张伟斌 | 张炜 | 张先锋 | 张延强 | 张远波 | 张跃军 | 张遵真 | 赵锋 | 赵凤起 | 赵国政 | 赵省向 |
| 赵孝彬 | 郑申声 | 智小琦 | 钟发春 | 周彬 | 周集义 | 周霖 | 周伟良 | 周阳 | 周遵宁 | 朱晨光 | 朱朋 | 朱顺官 |
| 朱卫华 | 邹吉军 | | | | | | | | | | | |

《含能材料》编辑部
二〇一七年十二月