

文章编号:1000-582X(2003)12-0029-03

# 添加剂对 TiO<sub>2</sub> 电流变液性能的影响\*

邓旭东, 郑玲, 邓兆祥

(重庆大学机械传动国家重点实验室, 重庆 400044)

**摘要:**研究不同添加剂对电流变液流变性能的影响,以提高 ER 液体的电流变活性。对含有不同添加剂的电流变液体进行了电流变性能测试。结果表明:几种添加剂对改善电流变液体的性能均有很好的促进作用。在 4kV/mm 的电场强度下,含不同添加剂的电流变液体的剪切应力分别提高 12%、26% 和 33%。且 ER 液体的抗沉淀稳定性明显提高。说明适宜、适量的添加剂能有效地提高 ER 液体的性能。

**关键词:** Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; TiO<sub>2</sub>; 电流变液; 添加剂

**中图分类号:** O362

**文献标识码:** A

电流变液体(Electrorheological Fluid)简称 ER 液,是近年来发展起来的一类重要的机、电耦合智能材料。电流变液体一般分为单相电流变液体和两相电流变液体<sup>[1]</sup>。由于单相液晶高分子的成本高,响应速度慢,应用上受到很大的限制。目前研究比较多的是两相电流变液体,即固体微细粒子分散于低介电常数的绝缘液体中形成的悬浮液。根据固体微粒的性质不同,可分为无机物、有机物和复合颗粒电流变液体。这些电流变液体的共同特点是:在外加电场作用下,电流变液体能迅速实现液、固态性质的转变,能感知环境(外加电场)的变化,并且根据环境的变化自动调节其本身的性质,使其黏度、阻尼和剪切应力都发生相应的变化。这种液、固态的之间的转化是快速可逆的,整个转化过程仅需几毫秒,并可保持黏度连续,无级变化,能耗极小,是智能驱动器的重要材料<sup>[2]</sup>。由于电流变液体的特殊性能,使其在汽车制动器、离合器以及各种机、电耦合系统中显示出了日益广阔的发展前景<sup>[3-4]</sup>。

目前,两相电流变液体的研究多集中在分散颗粒的制备上研制<sup>[5-6]</sup>,对分散介质和添加剂的研究相对较少。实践证明:适宜、适量添加剂的加入不仅能改善

电流变液体的悬浮稳定性,还能有效提高电流变液体的电流变活性<sup>[7]</sup>。

本文以 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 包覆 TiO<sub>2</sub> 为固体微粒,以减振器油为分散介质,通过加入不同的添加剂,如有机羧酸(T1),脂肪酸多元醇脂 I(T2),脂肪酸多元醇脂 II(T3),配制不同的电流变液体,测定其电流变性能和稳定性,以研究不同添加剂对电流变液体性能的影响。

## 1 实验方法

### 1.1 电流变液配制

原料采用包覆 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的 TiO<sub>2</sub> 固体微粒,直径 0.4 μm,减振器油,脂肪酸多元醇脂 I(T1),有机羧酸(T2),脂肪酸多元醇脂 II(T3)。

在配制一定浓度的电流变液体以前,将包覆 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的 TiO<sub>2</sub> 固体微粒放入干燥箱中,于 120 ℃ 烘干 12 h,以除去粉末中的水分。对减振器油进行 130 ℃, 3 h 的干燥处理,将包覆 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的 TiO<sub>2</sub> 固体微粒、减振器油和添加剂(T1, T2, T3),按一定比例进行混合,搅拌均匀。配制的电流变液的组成比例见表 1 所示。

\* 收稿日期:2003-10-17

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(51035030)

作者简介:邓旭东(1974-),男,重庆人,重庆大学硕士研究生,从事电流变材料的研究。

表1 电流变液体组成比例

样品号	粒子类型(体积分数)/%	分散介质	添加剂	质量百分数/%
1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 包覆 TiO <sub>2</sub> (35)	减振器油	无	—
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 包覆 TiO <sub>2</sub> (35)	减振器油	脂肪酸多元醇脂 I	5
3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 包覆 TiO <sub>2</sub> (35)	减振器油	脂肪酸多元醇脂 I	3
4	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 包覆 TiO <sub>2</sub> (35)	减振器油	脂肪酸多元醇脂 I	1
5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 包覆 TiO <sub>2</sub> (35)	减振器油	有机羧酸	5
6	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 包覆 TiO <sub>2</sub> (35)	减振器油	有机羧酸	3
7	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 包覆 TiO <sub>2</sub> (35)	减振器油	有机羧酸	1
8	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 包覆 TiO <sub>2</sub> (35)	减振器油	脂肪酸多元醇脂 II	5
9	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 包覆 TiO <sub>2</sub> (35)	减振器油	脂肪酸多元醇脂 II	3
10	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 包覆 TiO <sub>2</sub> (35)	减振器油	脂肪酸多元醇脂 II	1

1.2 电流变性能测试

电流变性能测试采用成都仪器厂生产的 NXS - 11A 型旋转黏度计, 转子外径和外筒内壁的间距为(2.0 ± 0.01) mm。采用 YB2970 型高压电源, 可提供交、直流两种电源, 调节范围 0 ~ 10 kV。

2 实验结果与讨论

分散颗粒和分散介质是 ER 液体的基本成分, 添加剂则是为了增加电流变效应而加入的, 根据添加剂作用的不同可分为表面活性剂和极化促进剂两类。作者将三种不同的添加剂 T1, T2, T3 分别加入以 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 包覆 TiO<sub>2</sub> 为分散颗粒的 ER 液体中进行对比实验, 分析其对 ER 液体性能的影响。其中 T2 为两性表面活性剂, T1, T3 分别为固态和液态非离子表面活性剂。

图 1 是添加剂为 T1 在质量百分含量为 1%, 3%, 5% 和无添加剂时的剪切屈服应力  $\tau$  和电场强度  $E$  的关系对比图。从图中发现, 随着 T1 的百分数增加, 其电流变效应减弱。

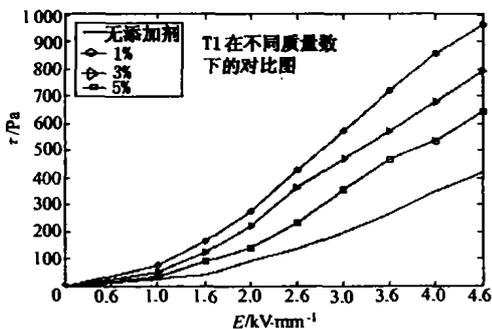


图1 不同含量 T1 的电流变性能

(T1 在不同质量数下的力 - 电场对比)

图 2 是添加剂为 T2 在质量百分含量为 1%, 3%, 5% 和无添加剂时的剪切屈服应力  $\tau$  和电场强度  $E$  的关系对比图, 随着 T2 的百分数增加, 其电流变效应

增强。

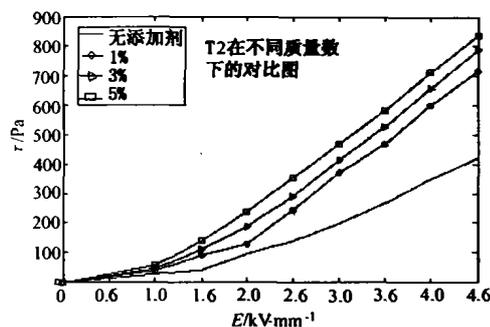


图2 不同含量 T2 的电流变性能

(T2 在不同质量数下的力 - 电场对比)

图 3 是添加剂为 T3 在质量百分含量为 1%, 3%, 5% 和无添加剂时的剪切屈服应力  $\tau$  和电场强度  $E$  的关系对比图, 从图中看出, 当 T3 质量百分数为 3% 时, 其效应最好。

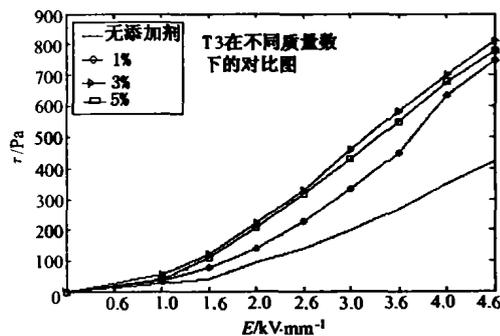


图3 不同含量 T3 的电流变性能

(T3 在不同质量数下的力 - 电场对比)

图 4 是三种添加剂 T1, T2, T3 在质量百分含量为 3% 和没有加添加剂时的剪切屈服应力  $\tau$  和电场强度  $E$  的关系对比图。

上面图的解释如下: 当加入脂肪酸多元醇脂 I (T1), II (T3) 时, 这是非离子表面活性剂, 促进了悬浮粒子的极化, 使粒子对电场的反应更加灵敏, 极化悬

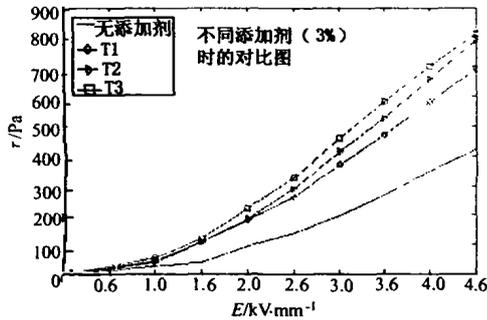


图4 不同添加剂的电流变性能  
(不同添加剂在质量数为3%时的力-电场对比)

浮粒子形成的链状结构刚性增强,能更有效地抵抗液体在外力作用下的流动,电流变效应也随之增强。但是T1是固体颗粒,所以随着质量百分含量的增加,其效应有所降低。而对于T3,如果用量过多,则会使ER液体在施加电场时,通过的电流增大,从而增加了损耗,还易造成液体因为电流过大而发热升温,使液体易发生电击穿;用量过少,添加剂对液体性能的改变不明显,通过多次实验总结,认为添加剂加入质量分数为3%时较为合适(见图1,3)。而T2是有机羧酸物质,属于两性表面活性剂,同样使粒子对电场的反映灵敏,它随百分数的增加其电流变效应也随之增加,但是它没有脂肪酸多元醇脂的效果明显(见图2)。

从图4可以发现加了添加剂的电流变效应明显优于不加添加剂的电流变液体时的。且在相同条件下T3效果优于T2,而T2则优于T1,从而进一步证明了上面的分析。

图5是无添加剂和三种添加剂T1,T2,T3的沉降率与存放时间的关系对比图。

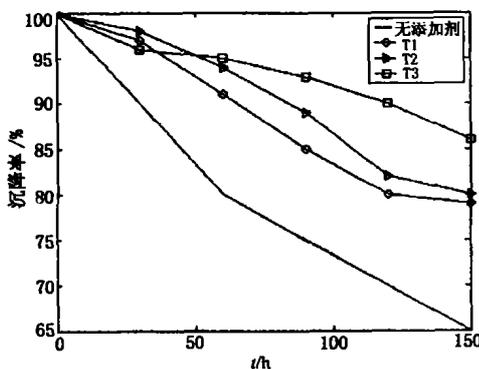


图5 添加剂的沉降率与存放时间的关系

从图中可以发现,当加了添加剂时ER液体的稳定性大为提高。这是因为添加剂是表面活性剂,它在

ER液体中的存在形式以吸附在分散颗粒表面为主,它可以改善分散颗粒与分散介质之间“液-固”界面的润湿性,增加分散颗粒与分散介质之间的相容性,起到稳定剂的作用。同时还可以改变粒子表面的介电和导电性质,在电场作用下,表现为电流变活性提高,剪切应力值增加。

### 3 结论

以包覆Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的TiO<sub>2</sub>为固体微粒,减振器油为分散介质,通过加入不同性质、不同数量的添加剂,讨论了电流变液体中添加剂的作用。有机羧酸是两性表面活性剂,且带有极性基团-羟基,不仅能提高颗粒的表面活性,还能起分散稳定的作用。脂肪酸多元醇脂I和脂肪酸多元醇脂II是非离子表面活性剂,性能稳定,不受液体电解质和pH值的影响,同样带有极性基团,对电流变液体的电流变活性和分散稳定性有很好的促进作用。这些添加剂的加入,显著提高了材料的电流变性能,效果十分明显,表明对添加剂的研究为开发新型高性能的ER液体材料提供了一条重要的途径。

这给我们一个很有意义的启示,对于从事电流变材料的工作者,添加剂是一门很有研究的课题,目前在这方面的成就还不大。如果能够找到一种适宜添加剂,且量度合适,那必将大大地提高电流变的性能。这是一条很好的思路。

### 参考文献:

- [1] 赵晓鹏,罗春荣,周本廉. 电流变材料的制备[J]. 材料科学与工程,1993,11(14):12-14.
- [2] 魏宸官. 电流变液体材料发展中若干问题的研究[A]. 第二届全国电磁流变学术会议论文摘要[C]. 西安:西安人民出版社,1998.
- [3] 魏宸官. 电流变液体及其在汽车减振器上的应用[J]. 兵工学报,1993,26(3):33-38.
- [4] KOYAMA K, NAKANO M. Proc. of 6th Conf on ER Fluid MRs and their applications[C]. M. Nakano and K. Koyama. World Scientific, Singapore, 1998. 1
- [5] WILLIAMS F M. Powder diffraction file, Alphabetical index (Inorganic material) Swarthmore: JCPDS, 9182. 1997.
- [6] 张建华. 电流变材料的设计,研制及其流变和应用性能研究[M]. 上海:上海大学出版社,1999. 47-48.
- [7] STANROOM J E. Basic considerations in flowing electrorheological fluids[J]. J Stat Phys, 1991, 64(516): 23-26.

(下转第47页)

## Design of Simulation System for Logistics in Steel – making Process

ZHANG Kun<sup>1</sup>, GAO Xiao-qiang<sup>2</sup>, ZHENG Zhong<sup>1</sup>, ZHAO Ke-wen<sup>3</sup>,  
SONG Gub-jū<sup>3</sup>, ZHANG Da-de<sup>3</sup>, CHEN Xiao-ping<sup>3</sup>

- (1. College of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China ;
2. College of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400044, China;
3. Panzhihua Iron and Steel (Group) Co. Panzhihua 617067, China)

**Abstract:** A simulation system for logistics in steel – making process has been developed by analyzing the state of logistics in steel plant, integrating the approach of coloured Petri nets with time and queuing network and using object – oriented methodology. The software functions for building – up simulation model, executing simulation, managing simulations, playing demo, analyzing statistics and online help. The objectives and principles of the simulation software have schematically been introduced. At last, the software is visually validated with measured input data of primary logistics in Vanadium – extracting, Steel – making Plant of Panzhihua Iron and Steel Corporation. A Gantt diagram and statistics of simulation case are included in simulation results and can be used to assist decision – making for scheduling in steel – making process.

**Key words:** steelmaking; logistics; simulation; software package developing

(编辑 李胜春)

(上接第31页)

## Additive in Titania Electrorheological Fluid

DENG Xu-dong, ZHENG Ling, DENG Zhao-xiang

(State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** This thesis studies the influences of additives on shear stress of electrorheological fluid (ER fluid) in order to improve performance of ER fluid. ER fluid contains additives, and it is organic carboxylic acid (T1) or fatty acid and many entity mellow fat (T2, T3). Then we test it. The result shows that all of the additives improve the performance of ER fluid. When the electric field is strengthened to 4 kV/mm under the condition that the content of additive is 3 percent, the shear stress of the ER fluid with different additive is improved in the rate of 12%, 26%, 33% respectively. The result also demonstrates that T1 contributes to a considerable increase in the stability of ER fluid. It is concluded that there will be a significant improvement in the property of ER fluid by dispersing appropriate type and a mount of additive to a certain ER fluid.

**Key words:** Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; TiO<sub>2</sub>; electrorheological fluid; additive

(编辑 张小强)