

柴油、乙醇和水三组元乳化液流变特性的研究

盛宏至 吴东垠 魏小林 张宏策

(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘要 研究了柴油、乙醇和水三组元乳化液的流变特性。实验发现乳化液在本文的组分配比下近似为牛顿流体, 而且乳化剂的种类、含量以及乳化液的组分等均对乳化液的流变特性具有显著的影响。对于组分相同的乳化液, 乳化液的粘度随着乳化剂含量和粘度的增加而增加; 当乳化剂的含量和粘度相同时, 若乙醇和水之间的相对质量分数保持不变, 减少乳化液中柴油的含量(柴油不少于 50%), 乳化液的粘度随之增加。但是, 柴油、乙醇和水三组元乳化液的粘度要比柴油、甲醇和水三组元乳化液的粘度大 2 到 3 倍。

关键词 乳化液; 乳化剂; 流变特性; 粘度

中图分类号: TK16 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-231X(2005)02-0357-03

STUDY OF RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE EMULSIONS MADE OF DIESEL, ETHANOL AND WATER

SHENG Hong-Zhi WU Dong-Yin WEI Xiao-Lin ZHANG Hong-Ce

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract Rheological characteristics of the emulsions made of diesel fuel, ethanol and water are studied. The corresponding experimental results show that the emulsions appear as proximately Newton fluids in the experimental composition. The rheological characteristics of the emulsions are significantly dependent on the different kinds and different percentages of emulsifying agents, and the composition of an emulsion has significant influence on oneself. For the emulsions with the same composition, the higher the percentage and/or the viscosity of emulsifying agent added into the emulsions is, the higher the viscosity of the emulsion is. If the ratio of ethanol to water in the emulsion is constant, the lower the percentage of diesel fuel is, the higher the viscosity of emulsion is, when the percentage and viscosity of the emulsifying agent is the same and the diesel fuel is more than 50% of emulsion. However, the viscosity of the emulsion made of diesel fuel, ethanol and water is 2 to 3 times larger than that made of diesel fuel, methanol and water in the same composition.

Key words emulsion; emulsification; rheological characteristics; viscosity

1 前 言

随着国民经济发展, 我国原油需求量正不断增长, 进口逐年递增, 2004 年进口原油将达到 1 亿吨以上, 国家不得不支付大量的外汇, 我们必须千方百计节约和替代石油。为此我国提出了在“十五”期间的节油目标: “到 2005 年, 在工业增加值平均增长 10% 的情况下, 节约和替代石油 2000 万吨”, 乳化液就是理想的替代燃料之一。

乳化液喷雾在高速加热的过程中可以发生“团状微爆”现象, 微爆也称“二次雾化”, 可有效地改

善燃料与气体的宏观与微观混合, 提高燃烧速度, 降低 NO_x 和碳烟等的排放^[1,2]。

本文所涉及的乳化液是含有乙醇、水和柴油的液体含氧燃料, 具有较低的排放特性, 受到了许多研究者重视, 是石油的理想替代燃料。乙醇来源于生物质, 系可再生资源, 美国、日本、巴西和欧盟都在致力于推广。我国在粮食主产区吉林和黑龙江等地均建有燃料乙醇生产基地, 在我国具有广阔的应用前景。

乳化液的粘度是基本的物性参数, 直接关系到乳化液的应用和理论研究, 影响液体射流的稳定性

收稿日期: 2004-12-07; 修订日期: 2005-01-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 19682010); 中国博士后基金资助项目 (No. 20040350515)

作者简介: 盛宏至 (1951-), 男, 浙江杭州人, 研究员, 工学博士, 主要从事燃烧、等离子体的研究。

以及发动机的喷雾与环境气体的混合,如用于管道输送时,首先要考虑液体的粘度。

2 测量仪器和乳化剂的流变特性

采用成都仪表厂的 NXS-11 旋转粘度计测量乳化液的流变性能。主要技术指标为:

粘度测量范围为 0.0028~0.800 Pa·s; 量程为 0-1-10-100-1000-10000; 剪切应力为 27.67~21970 Pa; 剪切速率为 $1.23\sim 996\text{ s}^{-1}$; 转速范围为 5.6~360 r/min; 环境温度为 +5~35°C; 用超级恒温器时,物料温度范围为室温~95°C; 供电电源为 220 V。

本次实验自行配制了三种乳化剂,乳化剂编号分别为 Y01 号、Y02 号、Y03 号,该乳化剂均近似为牛顿流体,乳化剂的含量和粘度对乳化液的粘度有显著的影响^[3]。

3 乳化液的流变特性

为了以后实验和分析方便,自行配制了若干种乳化液,并以 D、E 和 W 分别表示柴油、乙醇和水,其后面的数字分别表示乳化燃料中柴油、乙醇和水所占的质量分数,例如 D70E15W15 表示乳化燃料中柴油、乙醇和水所占的质量分数分别为 70%、15%、15%。本次实验所配制的柴油、乙醇和水乳化液,若以该体系的质量分数计算,适用范围为:柴油 50%~90%; 乙醇 5%~25%; 水 5%~25%。乳化剂以柴油、乙醇和水总质量的质量分数计算,适用范围为 0.8%~8%。

实验分别采用 Y01 号乳化剂、Y02 号乳化剂和 Y03 号乳化剂,配置三组元乳化液 D90E5W5、D80E10W10、D70E15W15、D60E20W20 和 D50E25W25,研究乳化剂质量分数分别为 8%、4.8%、4%、2% 和 0.8% 时的流变特性。

3.1 乳化液的含油量对乳化液流变特性的影响

大量实验数据表明乳化液含油量(50%~90%)对乳化液粘度影响趋势大致相同,且所有乳化液的粘度均大于柴油、乙醇和水任意一种液体粘度。为简化篇幅,以下选了一组代表性数据。

图 1 为采用 Y03 号乳化剂,乳化剂质量分数为 2% 时,5 种 DEW 乳化液的流变特性。从图中可看出:柴油、乙醇和水乳化液的流变特性曲线均近似直线且通过原点。可以认为:在本次实验配制柴油、乙醇和水乳化液的比例范围内,乳化液近似为牛顿流体,尽管乳化剂含量很低,但对乳化液粘度有显著影响,主要原因是乳化剂也近似牛顿流体。从图中还可发现:当乙醇和水的相对质量分数保持不变时,

随着乳化液中柴油质量分数的降低,乳化液粘度将随之增加,因此,在应用单组分的结果分析乳化液时,乳化液的粘度必须引起足够的重视。

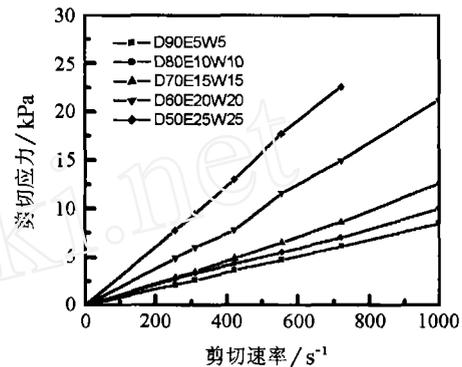


图 1 乳化液的流变特性

3.2 乳化剂的含量对乳化液流变特性的影响

乳化剂含量对乳化液的粘度有显著的影响,实验中得到了分别采用 Y01、Y02 和 Y03 号乳化剂,得到各种乳化液在乳化剂质量分数分别为 8%、4.8%、4%、2% 和 0.8% 时流变特性。大量的实验数据表明其基本趋势大致相同,下面选择一组代表性实验数据,图 2 为 Y03 号乳化剂, D70E15W15 乳化液在乳化剂质量分数分别为 8%、4.8%、4%、2% 和 0.8% 时的流变特性曲线。

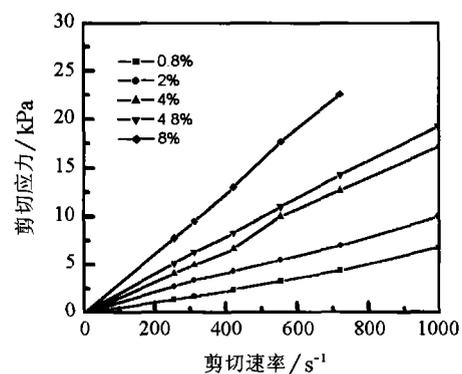


图 2 乳化液的流变特性曲线

从图可见,对于组分相同的乳化液,加入同一种乳化剂,随着乳化剂质量分数的增加,乳化液的粘度将随之增加,而且增幅逐渐增大^[3]。

3.3 乳化剂的粘度对乳化液流变特性的影响

乳化剂的粘度直接影响乳化液的粘度:对于组分相同的乳化液,即使乳化剂的质量分数相同,若采用高粘度乳化剂,其乳化液粘度也高。本次实验测量了 5 种三组元乳化液 D90E5W5、D80E10W10、D70E15W15、D60E20W20、D50E25W25 的流变特性,乳化液分别采用 Y01 号、Y02 号和 Y03 号

乳化剂配制, 乳化剂质量分数分别为 8%、4.8%、4%、2% 和 0.8%。流变特性实验证实了以上规律。

图 3 列出了 D70E15W15 乳化液采用三种乳化剂, 乳化剂质量分数均为 2% 时的流变特性。Y01、Y02 和 Y03 号乳化剂的粘度递增, 所配制的乳化液的粘度亦逐渐增加。

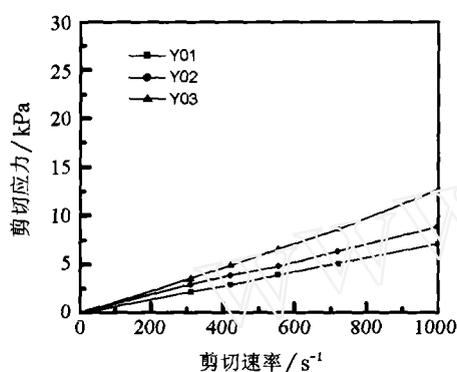


图 3 乳化液三种乳化剂的流变特性

3.4 讨 论

作者以前实验表明, 当乳化液中“水”相含量和乳化剂含量均较低时, 柴油、甲醇、水三组元乳化液粘度接近柴油; 当乳化液中“水”相含量较高, 乳化剂含量也比较高时, 柴油、甲醇、水三组元乳化液的粘度比柴油要大 5 到 6 倍^[3]。

本文所研究的柴油、乙醇、水三组元乳化液采用的乳化剂与文献^[3]柴油、甲醇、水三组元乳化液相同, 其流变特性与文献^[3]三组元乳化液和柴油、水双组元乳化液类似, 即乳化剂含量与粘度对乳化液粘度影响比较显著。当醇类(甲醇或乙醇)与水之间的比例不变, 而醇类与水在乳化液中质量分数上升时(不超过 50%), 乳化液粘度将随之增加, 在接近 50% 时, 粘度迅速上升, 而且与乳化剂的性质与含量密切相关。乙醇的粘度要大于甲醇的粘度, 柴油、乙醇、水三组元乳化液的粘度比柴油、甲醇、水三组元乳化液大 2 到 3 倍, 由于上述变化关系比较复杂, 目前未得到有用的关联公式, 还需要进一步研究。

本文用的乳化剂有良好降低界面张力的作用, 乳化液内分散相(水/乙醇)的粒度一般在 1~5 μm。乳化剂分子间较强“侧向吸引力”, 使两相间界面膜强度较高, 制备的乳化液不易破乳分层, 可保存较长时间。

因乳化剂吸附在分散相与连续相之间, 在分散相外还吸附了一些连续相物质, 共同形成不易变形的微团, 尺寸大于分散相尺寸, 减少了分散相之间可

自由变形的连续相厚度。且乳化剂在分散相与连续相之间形成的界面强度较好, 在剪切流场中, 分散相难于变形与破坏, 使分散相之间的连续相变形时局部速度梯度加大, 从而加大了乳化液表观粘度。这就是乳化液的粘度能远大于分散相液体与连续相液体各自粘度的原因。

三种乳化剂中 Y03 粘度略高, 但由于 HLB 值很低, 亲油性最强, 对油相吸附能力最强, 可能使前述微团的尺寸增加, 增加连续相变形难度, 明显增加乳化液的表观动态粘度。当乳化剂含量较高时, 部分高粘乳化剂溶解在连续相(油相)中, 大幅度增加粘度。因此, 乳化剂的性质和含量对乳化液的粘度有重要影响。

提高水相含量, 会减少在分散相之间的连续相厚度, 使连续相在剪切流场中变形加剧, 而使乳化液表观粘度增加。如乳化剂含量不足, 可使内相尺寸增加, 粘度提高幅度有限; 加大乳化剂含量, 可加大界面面积, 减小内相尺寸, 分散相之间连续相厚度更薄, 乳化液粘度大幅度增加。

4 结 论

柴油、乙醇、水三组元乳化液的流变特性与柴油、甲醇、水三组元乳化液和柴油、水双组元乳化液类似: 乳化剂的种类、含量以及乳化液的组分均对乳化液的流变特性具有显著的影响; 组分相同的乳化液, 乳化液的粘度随着乳化剂含量和粘度的增加而增加; 如乳化剂的含量和粘度相同, 水相中乙醇和水比例不变, 增加水相含量(不高于 50%), 乳化液的粘度随之增加。

当乳化剂与水相含量较高时, 柴油、乙醇、水三组元乳化液的粘度比柴油、甲醇、水三组元乳化液大 2 到 3 倍。

可以认为: 乳化液粘度的变化, 相当大程度上依赖于分散相与连续相之间的界面的状态。

参 考 文 献

- [1] Labowsky M. Effect of Nearest Neighbor Interactions on The Evaporation Rate of Clouds Particles. *Chemical Engineering Science*, 1976, 31(9): 803-813
- [2] Sheng H Z, An C, Chen Li, et al. The Droplet Group Micro-Explosions in W/O Diesel Fuel Emulsion Sprays and Their Effects on Diesel Engine Combustion. *The Twenty-Fifth International Symposium on Combustion*, Irvine, California, USA: Combustion Institute, 1994
- [3] 盛宏至, 吴东垠, 张宏策. 柴油、甲醇和水三组元乳化液流变特性的研究. *西安交通大学学报*, 2002, 36(10): 1079-1083