

喷油泵转速变化对乳化液喷雾特性的影响

吴东垠¹, 盛宏至², 魏小林², 张宏策², 谢辉¹, 赵华¹

(1. 天津大学内燃机国家重点实验室, 300072, 天津; 2. 中国科学院力学研究所, 100080, 北京)

摘要: 采用高速摄影技术, 研究了压力雾化喷嘴对甲醇、水和柴油多组元乳化液的雾化特性。结果表明: 当实验工质为乳化液时, 提高喷油泵的转速, 喷油器喷嘴的有效喷射压力随之上升, 喷雾贯穿速度提高, 喷雾锥角增大, 喷雾的持续时间增长; 乳化液和柴油的喷雾有一定的差异, 即柴油的喷雾锥角比乳化液的大, 喷油器的嘴端压力比乳化液的小, 喷雾持续时间也比乳化液的短。

关键词: 高速摄影; 乳化液; 喷雾

中图分类号: TK421 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253 - 987X(2004)09 - 0933 - 04

Influence of Injection Pump Speed on the Spray Characteristics of the Emulsions

Wu Dongyin¹, Sheng Hongzhi², Wei Xiaolin², Zhang Hongce², Xie Hui¹, Zhao Hua¹

(1. State Key Laboratory of Engines, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: Investigated is the influence of nozzle opening pressure and injection pump speed on the spray characteristics of diesel, and water/methanol emulsion by high speed photos. The experimental results show that the injection pressure was increased with the increase of pump speed operating on the emulsion fuel. Mean the penetration, the spray angle and the injection duration of the spray increase at the same time. The spray angle of diesel fuel is larger than that of emulsions, the pressure drop for diesel fuel at nozzle exit is smaller than that of the emulsions, and the injection duration of diesel fuel is shorter than that of emulsions.

Key words: high speed photo; emulsion; spray

我国是缺油的国家, 自 1993 年起我国就成为石油净进口国。为了节约能源, 降低污染物的排放, 保护环境, 我国在节约原油的同时, 也积极发展替代燃料。含氧乳化燃料作为替代燃料既有重要的理论意义, 也有一定的应用背景^[1]。

由于车用动力的柴油机可比汽油机节油 30% ~ 40%, 在能源日益紧张的今天以及将来, 柴油机直喷化和汽车柴油机化是一种趋势。当柴油机应用乳化液时, 由于乳化液的粘度较大, 除了喷雾系统应做必要的改动外, 柴油机的运行参数对乳化液喷雾特性的影响与柴油亦有一定的差异。本文采用高速摄影技术, 在柴油机台架上研究了喷油泵转速对柴油、

甲醇和水乳化液喷雾特性的影响。

1 实验方法

实验系统由液体供给与喷射系统、定容燃烧弹(以下简称“定容弹”)、控制系统、数据采集与处理系统和高速数字摄影机等组成^[2]。

实验采用定容弹形成高温高压环境, 其中石英玻璃观察窗的直径为 120 mm。采用油包水型乳化液(W/O), 其中柴油、甲醇、水和乳化剂的质量分数分别为 69%、10%、20% 和 1% 左右, 采用超声波乳化方式配制, 乳化液近似为牛顿流体^[3]。

高速数据采集系统采用由 KODAK 公司制造

收稿日期: 2004 - 01 - 18。作者简介: 吴东垠(1966 ~), 男, 博士后, 工程师。基金项目: 国家自然科学基金资助项目(19682010); 国家重点基础研究发展规划资助项目(2001CB209204); 中国博士后科学研究基金资助项目(20040350515)。

的与高速数字摄影机配套的数据采集系统 MCDL (Multi-Channel Data Link), 同高速数字摄影机同步采集, 采样频率与摄影机拍摄速率相同. 系统采用弹簧式压力表测量定容弹内的环境压力, 弹体内的环境温度由热电偶温度记录仪记录.

燃料喷射系统由燃料供给系统、调速电机、高压油泵和喷油器等组成. 其中, 高压油泵是 6135 柴油机使用的 B 系列高压喷油泵, 根据实验要求从发动机厂家定制为单喷射孔的形式, 孔径尺寸为 0.34 mm, 它由调速电机驱动, 调速电机的转速可以调节. 在高压油泵的驱动轴上装有角标发生器, 在设定的相位给出脉冲信号. 本次实验设定调速电机的转速分别为 750、550、500 和 300 r/min, 相当于四冲程柴油机分别在转速为 1 500、1 100、1 000 和 600 r/min 下工作. 实验时分别在不同工况下观察乳化液喷雾在定容弹内的发展过程.

在实验过程中, 需要实现高速摄影机与喷油泵单次喷射及数据采集系统的高度同步, 整个实验过程的控制是由 TP801B 单板机来完成的. 过程控制的工作顺序为: 当喷油泵、光路、数据采集与处理系统和高速数字摄影机均进入正常工作的预备状态之后, 启动单板机进入等待触发信号状态. 随后, 按动手动按键, 当高压油泵旋转到合适的相位时, 由角标信号发生器发出角标信号, 并触发单板机的触发信号电路发出 2 个正脉冲: 一个脉冲使电磁铁吸合, 转动高压油泵的喷油柱塞, 使喷油泵开始喷射, 从而实现单次或多次喷射; 另一个脉冲则触发数据采集与处理系统和高速数字摄影机. 待设定的喷射任务完成后, 电磁铁复位, 停止喷射, 采集系统也结束工作, 等待下一个工作周期.

2 乳化液的雾化特性

2.1 喷油泵转速变化对乳化液喷雾雾化特性的影响

采用高速摄影机记录喷油泵转速变化时乳化液喷雾的发展过程 (见图 1、图 2). 光路系统的背景采用 He-Ne 激光照明. 实验用喷嘴的启喷压力均设定为 20 MPa; 定容弹内的环境压力为 1.1 MPa, 内部充满氮气, 采用定容弹内的温度信号控制电加热的开关, 使定容弹内的温度维持恒定, 定容弹内的最高温度可以达到 773 K, 压力可以达到 7.0 MPa. 本次实验针对常温高压状态, 定容弹内的温度维持在 293 K 左右 (相当于气体密度为 12.82 kg/m³), 高速

摄影机的拍摄速度设定为 2 kV/s. 图 1、图 2 从喷雾出现在观察窗开始计时, 分别列出了大约 2.5 ms 内的喷雾发展过程.

从图 1、图 2 可以看出: 提高喷油泵的转速后, 乳化液喷雾的雾化效果变好, 喷雾贯穿速度提高, 喷雾锥角增大. 喷雾锥角从 11.6° 增大到 13.3°, 即乳化液喷雾的雾化效果变好. 根据拍摄的喷雾照片的幅数可知喷射持续时间也随之增长, 持续时间从 5.5 ms 左右增加到 6.5 ms 左右. 同时, 喷油嘴的嘴端瞬间压力也大幅度上升.

2.2 喷油泵转速变化对喷油器嘴端压力的影响

为了进一步研究喷油泵转速变化对乳化液雾化特性的影响, 测量了喷油嘴的嘴端压力变化. 喷油器的嘴端压力由数据采集系统采集, 采样频率为 100 次/ms. 图 3 为对应图 1、图 2 的喷油器嘴端瞬间压力的波动曲线.

从图 3 可见: 随着喷油泵转速的提高, 喷油器的嘴端瞬间压力也随之提高. 当喷油泵的转速为 750 r/min 时, 喷油器的嘴端峰值压力约为 68 MPa; 当喷油泵的转速为 500 r/min 时, 喷油器的嘴端峰值

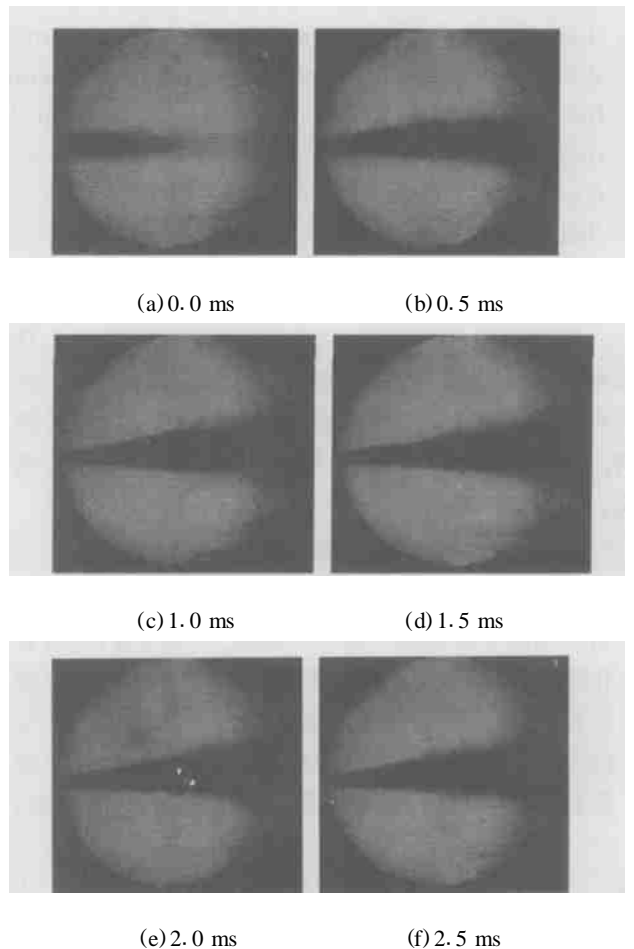


图 1 喷油泵转速为 750 r/min 时乳化液喷雾的发展过程

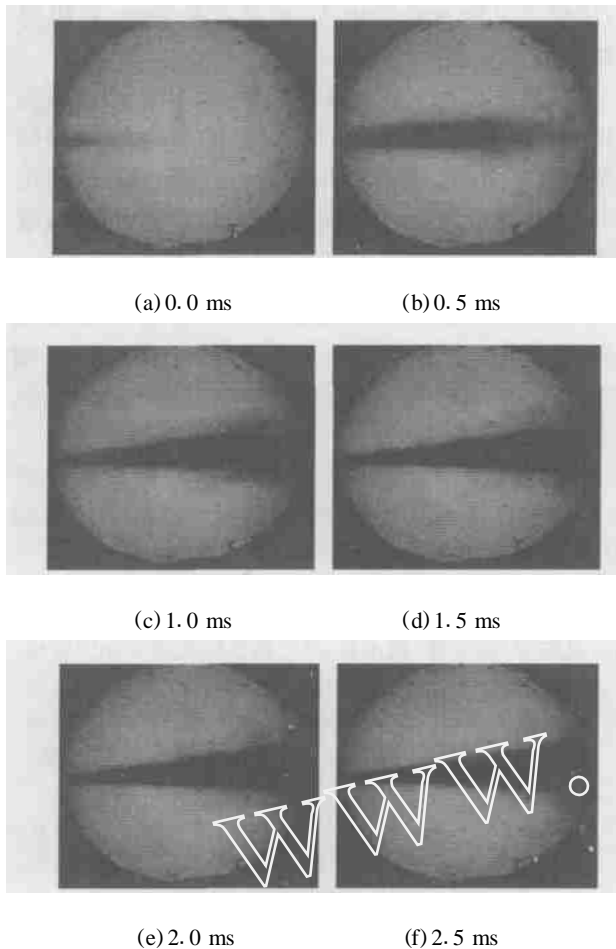


图2 喷油泵转速为 550 r/min 时乳化液喷雾的发展过程

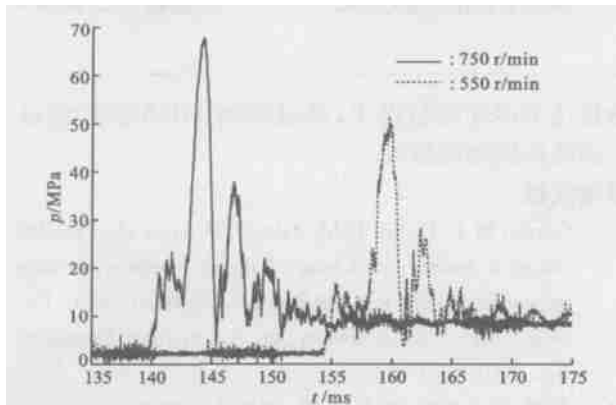


图3 采用乳化液时喷油泵的嘴端压力变化

压力约为 55 MPa, 峰值压力之差达到 13 MPa, 因为环境压力相同, 喷油泵喷嘴的有效喷射压力随之上升。根据压力雾化喷嘴的雾化特性, 喷油泵的喷射压力提高, 有利于液体的雾化。因此, 喷油泵的转速提高, 乳化液的雾化效果变好, 在高速摄影的阴影图中表现为喷雾的锥角增大, 由此也支持了上述高速摄影的实验结果。因此, 为了保证乳化液的雾化效果, 建议喷油泵选用较高的转速。

3 乳化液与柴油的差异

对于替代液体燃料——乳化液的推广应用, 人们首先想到在现有柴油/汽油发动机的基础上做局部改动后直接应用, 这样不仅可大幅度节约成本, 而且可有效缩短替代液体燃料的推广应用周期, 因此乳化液的雾化特性与柴油的异同就成为人们特别关注的课题。基于以上原因, 本文同时进行了相同工况下柴油喷雾的对比实验。

实验发现, 柴油喷雾的阴影图和喷油器的嘴端压力曲线与上述乳化液实验结果的形式大体相同, 限于篇幅, 略去柴油喷雾的高速摄影图和喷油器的嘴端压力变化图, 仅介绍一下实验结论, 详细内容可以参见文献[2]。

从柴油喷雾的实验中可以发现, 柴油喷雾锥角和喷油器的嘴端压力均随着喷油泵转速的提高而增大, 这点与乳化液的实验结果一致。但是, 柴油喷雾与乳化液喷雾也存在一定的差异, 其中柴油的喷雾锥角比乳化液的大, 即当喷油泵的运行参数相同时, 柴油喷雾的雾化效果比乳化液的好, 而且喷油器的嘴端压力也比乳化液的小, 柴油喷雾的持续时间也比乳化液喷雾的时间短。之所以呈现以上现象, 主要是因为乳化液的粘度比柴油的大^[3], 详细机理将在以下讨论。

4 分析和讨论

液体射流根据喷射速度可分为高速射流和低速射流, 一般认为低速射流为瑞利模式, 高速射流为泰勒模式^[4]。就压力雾化喷嘴而言, 射流速度与射流压力成正比。本文实验用的喷油器嘴端的峰值压力分别为 68 和 55 MPa (见图 3), 而环境压力仅为 1.1 MPa。液体射流的有效喷射压力较高, 射流速度也相应较高, 因此本文所涉及的射流属于高速射流, 该模式为典型的泰勒模式。

对于液体射流, 定义韦伯数 (We) 为射流表面张力与惯性力之比, 定义密度比 (Q) 为射流周围气体密度与液体射流密度之比。在泰勒模式下, 当 We 小于 Q 时, 惯性力占上风, 气体密度也相对较大, 气体与射流之间的相互作用已不容忽视, 射流速度的增加会使粘性力和表面张力的作用都减弱。以上这 2 种力都对液体破碎起抑制作用, 而气体与射流之间的压力脉动及剪切脉动就成了射流破碎的主要原因。环境气体与液体射流之间的空气动力相互扰动作用, 导致液体射流表面产生不稳定的波动, 随着射

流速度的增加,不稳定波所作用的表面长度越来越短,直至微米级,射流破碎后形成的液滴尺寸远小于射流半径,这样的过程即为雾化。因此,喷油泵的转速增加,射流速度也随之增加,喷雾的雾化效果变好,在阴影图片上表现为喷雾锥角增大。在低速射流(瑞利模式)时,表面张力对液体的破碎起决定性作用,射流速度的增加使表面张力促使液体破碎的作用减弱了,此时速度的增加反倒不利于液体的破碎。

当射流处于高速(泰勒模式)时,在相同的工况下,乳化液的喷射速度比柴油的喷射速度高,但乳化液的雾化效果却较柴油的差。原因是射流系统的特征频率及最大扰动增长率随液体种类的改变有明显变化,且二者变化趋势相同。液体粘度的差异直接导致射流系统的特征频率及最大扰动增长率变化,即液体的粘度大,其特征频率和最大扰动增长率则相应较低,射流不容易破碎^[4]。由于乳化液的粘度比柴油的大,因此乳化液的破碎比较困难,即乳化液的雾化效果比柴油的差。

其次,针对压力雾化喷嘴,由于乳化液的粘度较大,使喷嘴针阀的相对阻力增大,针阀的移动速度减小,导致喷嘴的喷射压差升高。由于针阀关闭较慢,因此乳化液喷雾的持续时间较柴油喷雾的时间长。

5 结论

本文所涉及的射流喷射压力较高,属于高速射

流,该模式又称为泰勒模式。通过实验观测,可以得到如下结论。

(1)无论是本文所涉及的甲醇、水和柴油多组元乳化液,还是柴油,随着喷油泵转速的提高,喷油器的嘴端瞬间压力和峰值压力均增大,相应的有效喷射压力也增大,喷射油量增大,同时喷雾贯穿速度提高,喷雾锥角增大,而且喷射持续时间有增长的趋势。

(2)乳化液和柴油的喷雾有一定的差异,即柴油喷雾的锥角比乳化液的大,而柴油喷雾的喷油器嘴端瞬间压力比乳化液的小,喷雾的持续时间也比乳化液的短。

深入研究乳化液应用于柴油/汽油机的雾化特性,可以为乳化液雾化系统的设计、制造和运行等提供依据。

参考文献:

- [1] 吴东垠,田文栋,魏小林,等. 奥里乳化油工业试验结果分析[J]. 燃烧科学与技术,2000,6(2):120-123.
- [2] 吴东垠. 醇类、水和柴油多组元乳化液的流变、雾化与微爆特性的研究[D]. 北京:中国科学院研究生院,2003.
- [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[J]. 西安交通大学学报,2002,36(10):1079-1083.
- [4] 杜青. 受激液体射流破碎机理的研究[D]. 天津:天津大学研究生院,1998. (编辑 王焕雪)

(上接第932页)

3 结论

(1)MEA可与柴油实现良好的互溶,不需要任何助溶剂,而且混合稳定、不分层。

(2)在原发动机参数不做任何调整的情况下,燃用含MEA的混合燃料时,发动机的着火滞燃期延长,但燃烧的峰值压力变小,燃烧持续时间变短,发动机的热效率提高,经济性得到改善。

(3)燃用含MEA的混合燃料时,可以大幅度降低碳烟颗粒的排放,而且HC和CO也有不同程度的降低。混合燃料对NO_x的排放影响较小。

(4)含MEA的混合燃料由于热值降低,导致了发动机动力性的降低,可以增加循环供油量,并适当调整供油提前角,以恢复其动力性。

(5)综合以上试验结果,在不对柴油机技术参数进行调整时,燃用含15%体积比的MEA混合燃料比

较合适。通过对发动机参数的优化,可以在保持发动机功率不变的情况下,通过增加MEA的比例进一步降低碳烟的排放。

参考文献:

- [1] Curran HJ, Fisher EM, Gaude PA, et al. Detailed chemical kinetic modeling of diesel combustion with oxygenated fuels[R]. SAE Paper, 2001-01-0653. Detroit, MI, USA: Society of Automotive Engineers Inc, 2001. 514-521.
- [2] 黄勇成,王贺武,周龙保,等. 含氧添加剂碳酸二甲酯降低轻型直喷柴油机碳烟的研究[J]. 西安交通大学学报,2000,34(5):5-8.
- [3] 张光德,黄震,张武高,等. 含氧添加剂DMC对柴油机燃烧与排放特性的影响[J]. 燃烧科学与技术,2002,8(5):386-389.
- [4] Bertolic C. Diesel combustion improvements by the use of oxygenated synthetic fuels[R]. SAE Paper, 972972. Tulsa, OK, USA: Society of Automotive Engineers Inc, 1997. 1557-1567.

(编辑 王焕雪)