

二甲醚发动机燃料喷射过程及其影响因素研究

盛新堂¹, 高广新², 吴国伟², 刘圣华²

(1. 江苏女神汽车集团, 225200, 江苏扬州; 2. 西安交通大学能源与动力工程学院, 710049, 西安)

摘要: 在一台 2102QB 二甲醚发动机上测量了高压油管两端的压力, 在不同的发动机转速、负荷和不同的二甲醚燃料温度条件下比较了泵端、嘴端高压油管的压力, 结合喷油器针阀升程信号计算了二甲醚燃料的喷射延迟期和持续期, 以及不同二甲醚温度条件下的声速。试验结果表明: 二甲醚的弹性模量小, 压缩性大, 喷射延迟期较柴油的长; 二甲醚的温度对喷射的最高压力、持续期和压力波传播速度均有较大影响, 二甲醚发动机的供油提前角需要根据发动机的转速和燃料温度重新匹配。

关键词: 二甲醚; 发动机; 喷射过程

中图分类号: TK42 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2012)01-0009-04

Investigation of Dimethyl Ether Injection Process and Influencing Factors

SHENG Xintang¹, GAO Guangxin², WU Guowei², LIU Shenghua²

(1. Jiangsu Nüshen Automobile Group, Yangzhou, Jiangsu 225200, China; 2. School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: A 2102QB CI engine fueled with DME (dimethyl ether) was adopted to investigate the injection process and influencing factors. The pressures at the pump end and the nozzle end of the injection pipe were measured at different engine speeds, loads and DME fuel temperatures. The injection delay, duration and sound speed were calculated by combining the signal of the needle valve lift. The experimental results indicate that DME has a lower bulk modulus, which reduces the pressure wave propagation and causes a longer injection delay and duration. The temperature of DME has a significant effect on the injection process. Higher temperature leads to smaller peak injection pressure, longer injection delay and duration. The fuel delivery advance angle of the DME engine should be optimized according to engine speed and fuel temperature.

Keywords: dimethyl ether; engine; injection process

二甲醚(DME)的化学结构($\text{CH}_3\text{—O—CH}_3$)比较简单, 其分子中没有 C—C 键, 氧的质量分数高达 34.8%。二甲醚作为单一组分燃料, 无硫且具有较高的十六烷值(约 55), 能够实现无烟燃烧, 适用于压燃式发动机。在普通柴油机上燃用二甲醚, 只需对系统以及燃料供给系统与燃烧室的匹配进行少量的改动和调整, 便使发动机获得更高的动力性和经济性^[1-6], 而且满足更高的排放要求。二甲醚和柴油的物性, 尤其是密度、沸点和弹性模量存在着差异, 所

以二甲醚发动机的供油和喷射过程与柴油机明显不同^[7-8]。Gong^[9]研究了柴油温度对柴油喷射过程的影响, 结果发现, 随着温度的升高, 高压油管压力降低, 喷油时刻推迟, 同时还发现这些变化是由燃料的密度和弹性模量的变化引起的。Arcoumanis 等^[10]研究了压力对二甲醚喷射过程的影响, Cipolat^[11]考查了发动机的转速和负荷对二甲醚喷射时刻和油管压力的影响。

本文研究了二甲醚燃料喷射过程随发动机的转速、负荷的变化, 重点研究了燃料温度对喷射过程的

影响,包括二甲醚燃料在高压油管内的压力波传递速度、供油延迟期、喷射持续期以及油管压力峰值的变化等,旨在为二甲醚应用于轻型直喷柴油机提供依据。

1 发动机及试验仪器设备

试验用二甲醚发动机是由一台双缸、四冲程、自然吸气、强制水冷的直喷式柴油机改装而成,主要性能和结构参数见表 1。

表 1 发动机主要性能和结构参数		
参数	柴油机	DME 发动机
燃烧室	ω 型	
缸径/mm	102	
冲程/mm	115	
总排量/ cm^3	1 880	
压缩比	17.5	
标定功率/kW	26.1	26.8
标定转速/ $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	2 700	2 700
柱塞直径/mm	8.5	10.5
喷嘴孔数	4	5
喷嘴孔径/mm	0.27	0.35
启喷压力/MPa	19	14
供油提前角/ $^\circ$	25	22
排放标准	国家标准 I	国家标准 III

试验用二甲醚是由山东久泰公司生产的质量分数为 99.9% 的工业二甲醚,二甲醚的润滑添加剂是由上海海联公司生产的,主要成分为油酸、硬脂酸丁酯和三油酸甘油酯,作用是改善二甲醚的润滑性。试验中二甲醚输油管采用耐压、耐腐蚀、密封性良好的四氟管,同时将 3 个 0.7 MPa 的博世电喷油泵串联连接,使得低压管路压力提高至 2.1 MPa,以防止二甲醚在进入高压油泵前发生气化。将原柴油机的喷油泵(PM)更换为供油量较大的 BQ 型油泵,该泵的柱塞直径由原机的 8.5 mm 增大到 10.5 mm。为了与供油量相匹配,试验中将原机的 4 mm $\times$ 0.33 mm 喷嘴更换为 5 mm $\times$ 0.35 mm 喷嘴,使得喷孔流通面积为原来的 2.1 倍,这样能够恢复原机功率并取得最佳的热效率。高压油管压力用 2 个 Kistler 公司生产的 4067 型压力传感器测量,二者相距 0.55 m。二甲醚温度由水浴加热器加热,温度分别为 20、30、40 $^\circ\text{C}$ 。

2 试验结果和讨论

按照 ESC-13 工况确定了 3 个转速,分别为 1 400、1 870、2 340 r/min。本文重点研究了 1 870 r/min 转速下的 3 种负荷,其对应的平均有效压力分

别为 0.167、0.334、0.501 MPa。

2.1 二甲醚和柴油的喷射过程比较

图 1 为柴油和二甲醚的喷射过程。由图 1 可见,二甲醚和柴油的喷射过程明显不同:二甲醚高压油管的压力提升速度比柴油的慢;二甲醚高压油管的最高压力比柴油的低;二甲醚的喷射持续期比柴油的长。其主要原因是,二甲醚的密度和弹性模量远小于柴油。

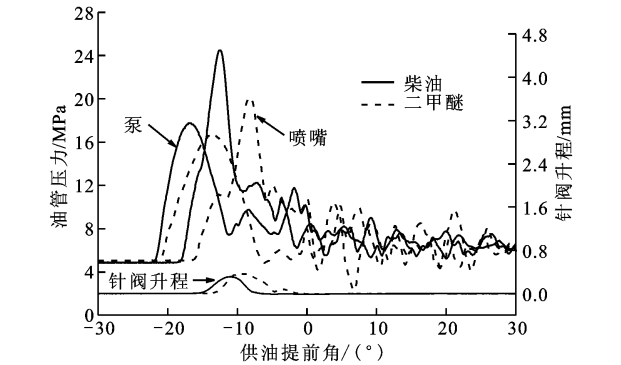
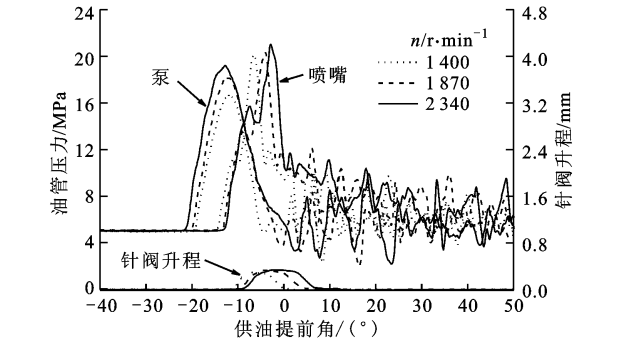


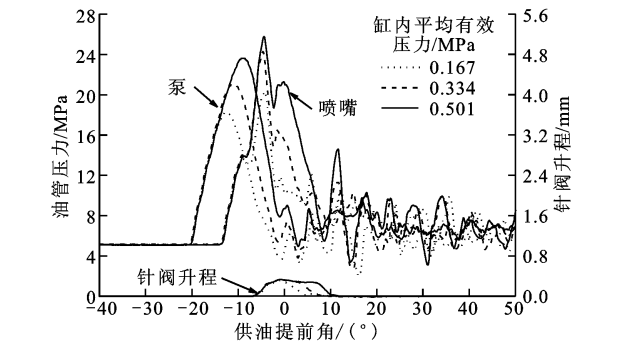
图 1 柴油和二甲醚的喷射过程

2.2 二甲醚发动机的转速和负荷对喷射过程的影响

图 2 为二甲醚发动机的转速、负荷对喷射过程的影响。由图 2a 可见,在相同负荷下,随着发动机转



(a) 转速影响(缸内平均有效压力为 0.167 MPa)



(b) 负荷影响(n 为 1 870 r/min)

图 2 二甲醚发动机的转速、负荷对喷射过程的影响

速的升高,泵的压力曲线整体前移,喷嘴压力曲线整体后移,油管最高压力略有升高.这是由于二甲醚的黏度小,发动机转速提高,高压油泵柱塞压缩腔内的二甲醚在排油口的泄露量减少,因此油管泵压力上升时刻提前.虽然发动机转速提高使得压力波传播到喷嘴传感器时的曲轴转角增大,但传播时间变化不大,也就是说二甲醚中的声速变化不大.由图 2b 可见,泵和喷嘴的油管压力在上升时刻基本不变,随着发动机负荷和燃料量的增加,高压油管内的压力升高,喷射持续期延长,但二甲醚中声速未变.总体来说,发动机负荷对二甲醚喷射过程的影响比较小,相对于曲轴转角来说,二甲醚的喷射时刻随转速的提高而延迟.

二甲醚发动机从供油提前角开始供油到针阀开启称为曲轴转角的喷射延迟期,整个针阀开启阶段称为燃料喷射期,也是曲轴转角的喷射持续期.图 3 为发动机的转速和负荷对二甲醚喷射延迟期和喷射持续期的影响.由图 3 可见,二甲醚发动机在不同转速下的供油提前角需要重新标定.

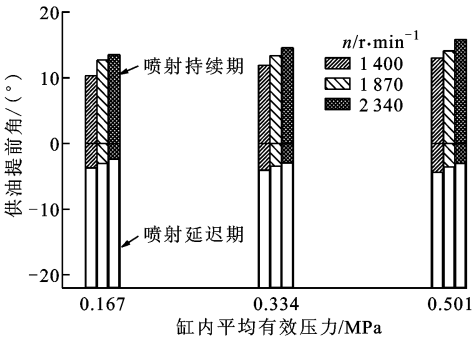


图 3 发动机的转速和负荷对喷射延迟期和喷射持续期的影响

2.3 二甲醚温度对喷射过程的影响

二甲醚的物性随温度的变化比较大,物性的改变对喷射过程的影响主要体现在 2 个方面,即二甲醚的喷射压力和压力波传播的速度.二甲醚的压力波传播速度可由其弹性模量 $E(\text{Pa})$ 和密度 $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$ 计算获得,即

αc = (E/ρ)^(1/2) (1)

在不同的燃料温度下,按照高压油管残压 5 MPa 计算所得的二甲醚的物性参数如图 4 所示.由图 4 可见,较之密度,弹性模量随燃料温度的变化更大,αc 随着燃料温度的升高而下降,20、30、40 ℃时的 αc 分别为 942.848、888.541、833.272 m/s.

二甲醚的密度和弹性模量随温度的变化而变,从而影响二甲醚的喷射过程.图 5 为发动机的转速

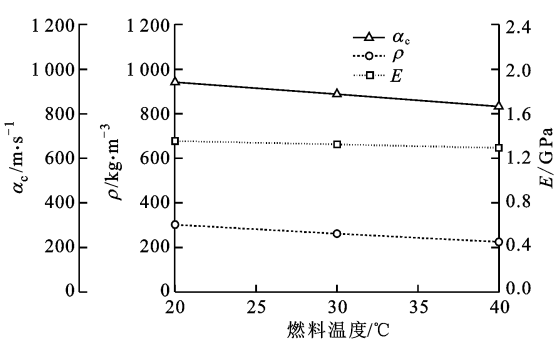


图 4 燃料温度对二甲醚物性的影响

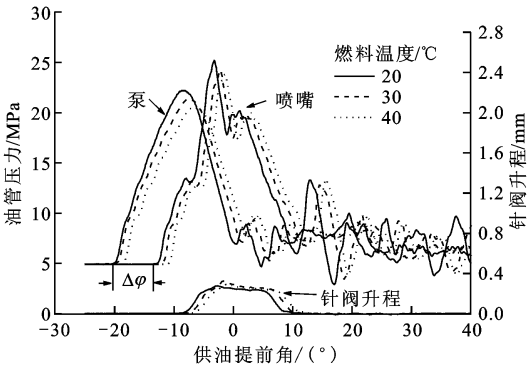


图 5 泵和喷嘴的油管压力随燃料温度变化的曲线
(n=1 870 r/min,p=0.501 MPa)

为 1 870 r/min、压力为 0.501 MPa 时泵和喷嘴的油管压力随燃料温度变化的曲线.由图 5 可见,随着二甲醚温度的升高,泵和喷嘴的油管压力,曲线后移,油管的最高压力随之下降.

通过不同时刻的泵和喷嘴的油管压力,可以计算二甲醚在实际工作条件下的压力波传播速度

α = (6nL/Δφ) (2)

式中:L 为油管长度;n 为发动机转速;Δφ 为压力波在 2 个压力传感器之间传播时的曲轴转角之差.3 种温度下 Δφ 的实测结果分别为 6.8°、6.9°和 7.2°.α 的试验测量结果如图 6 所示.由图 6 可见,当二甲醚温度超过 30 ℃时,α 迅速下降,表明实验中二甲醚的温度不宜超过 30 ℃.

二甲醚温度对喷射延迟期和喷射持续期的影响如图 7 所示.由图 7 可见,随着二甲醚温度的升高,燃料喷射时刻推迟,喷油持续期延长.在试验温度范围内,二甲醚温度每提高 10 ℃,发动机的喷射延迟期增加 1.1°,喷射持续期增加 0.4°.

3 结 论

(1)与柴油喷射过程相比,二甲醚的高压油管的压力提升速度比较慢,最高压力比较低,喷射持续期比较长.

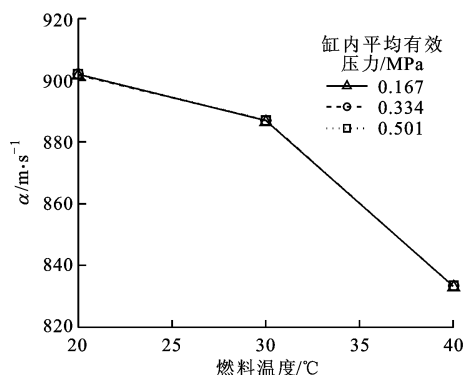
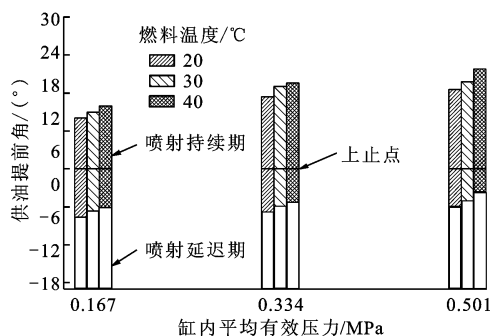
图6 燃料温度对 α 的影响

图7 二甲醚温度对喷射延迟期和喷射持续期的影响

(2)随着二甲醚温度的提高,泵、喷嘴的压力和压力提高率降低,压力波传播速度降低,从而导致针阀开启时刻推迟,喷射压力降低,二甲醚的喷射持续期延长。

(3)随着发动机转速的提高,泵、喷嘴的压力提高,泵的压力峰值前移,喷嘴的压力峰值后移,从而导致针阀开启滞后,喷射延迟期和持续期均延长。

(4)随着负荷的增加,泵、喷嘴的压力增大,若喷射时刻不变,喷射持续期随负荷的增大而延长。

参考文献:

- [1] ZHOU Longbao, WANG Hewu, JIANG Deming. Study of performance and combustion characteristics of a DME-fueled light-duty direct-injection diesel engine, SAE 1999-01-3669 [R]. Warrendale, PA, USA: Society of Automotive Engineers, 1999.
- [2] 周龙保,王贺武,黄勇成,等. 轻型直喷柴油机燃用二甲醚性能和燃烧特性研究[J]. 西安交通大学学报, 2000, 34(1): 9-13.
ZHOU Longbao, WANG Hewu, HUANG Yongcheng, et al. Performances and combustion characteristics of dimethyl ether fueled light duty direct injection diesel engine [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2000, 34 (1): 9-13.

- [3] 汪映,董红义,周龙保,等. 车用柴油机燃用二甲醚性能研究及行驶试验[J]. 西安交通大学学报, 2004, 38 (1): 24-27.
WANG Ying, DONG Hongyi, ZHOU Longbao, et al. Investigation of the performances of diesel engine fueled with dimethyl ether and vehicle driving tests [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2004, 38 (1): 24-27.
- [4] WANG Ying, ZHOU Longbao, WANG Hewu. Diesel emission improvements by the use of oxygenated DME/diesel blend fuels [J]. Atmospheric Environment, 2006, 40(13): 2313-2320.
- [5] 李君,朱昌吉,马光兴,等. 柴油机燃用二甲醚排放特性的研究 [J]. 燃烧科学与技术, 2003, 9(3): 256-260.
LI Jun, ZHU Changji, MA Guangxing, et al. Study on diesel engines fueled with dimethyl ether [J]. Journal of Combustion and Science, 2003, 9(3): 256-260.
- [6] SONG Ruizhi, LI Ke, FENG Yang. Performance and emission characteristics of DME engine with high ratio of EGR [J]. Energy Fuels, 2009, 23: 5460-5466.
- [7] ZHANG Guangde, XIA Xinxiang. Study on the injection process of a direct-injection diesel engine fuelled with dimethyl ether [J]. Proc Instn Mech Engrs: Part D Journal of Automobile Engineering, 2004, 218 (11): 1341-1347.
- [8] 乔信起,张光德,黄震,等. 柴油机燃用二甲醚喷射与燃烧的试验研究 [J]. 农业机械学报, 2004, 35(1): 30-33.
QIAO Xinqi, ZHANG Guangde, HUANG Zhen, et al. Experimental investigation on injection and combustion of dimethyl ether fueled diesel engine [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2004, 35(1): 30-33.
- [9] GONG Chen. Study of fuel temperature effects on fuel injection, combustion, and emissions of direct-injection diesel engines [J/OL]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2009, 131 (2) [2011-01-12]. <http://dx.doi.org/10.1115/1.3019006>.
- [10] ARCOUMANIS C, BAE C, CROOKES R, et al. The potential of dimethyl ether (DME) as an alternative fuel for compression-ignition engines: a review [J]. Fuel, 2008, 87(7): 1014-1030.
- [11] CIPLAT D. The effect of fuel characteristics on the fuel injection process in a CI engine fuelled on diesel and DME, SAE 2007-24-0119 [R]. Warrendale, PA, USA: Society of Automotive Engineers, 2007.

(编辑 苗凌)