

引燃油量对甲醇柴油双燃料发动机燃烧特性的影响

王利军, 邹洪波, 宋睿智, 刘圣华
(西安交通大学能源与动力工程学院, 710049, 西安)

摘要: 在一台 TY1100 单缸柴油机的进气管上安装了一套电控甲醇喷射装置, 采用柴油引燃甲醇方式, 开展了引燃油量对甲醇柴油双燃料发动机燃烧特性影响的研究. 结果表明: 在相同的平均有效压力和转速下, 随着引燃油量的减少, 双燃料燃烧的滞燃期延长, 主燃期缩短, 缸内气体最高爆发压力和最大压力升高率在高负荷时增加, 放热率曲线第 1 峰值增大, 第 2 峰值减小, 表明预混燃烧量增加而扩散燃烧量减少; 高负荷时放热率曲线型心向上止点靠近, 燃烧等容度提高, 燃油经济性改善; 提高转速和增大供油提前角, 最大放热率和最大压力均增加.

关键词: 柴油机; 甲醇; 燃烧特性

中图分类号: TK42 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2007)05-0517-04

Effect of Pilot Fuel Quantity on Combustion Characteristics of a Methanol-Diesel Dual Fuel Engine

Wang Lijun, Zou Hongbo, Song Ruizhi, Liu Shenghua
(School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Effect of pilot fuel quantity on combustion characteristics was studied with a TY1100 diesel engine equipped with an electronically controlled methanol injection system and fuelled with methanol piloted by diesel. The results show that under the same brake mean effective pressure (bmep) and engine speed, the ignition delay increases while the main combustion duration decreases with the decrease of the amount of pilot fuel. Moreover, the maximum cylinder pressure and the maximum rate of pressure rise increase at the high engine load. The first peak value of heat release rate increases and the second peak value decreases, indicating the increase of the premixed burning amount and the decrease of the diffusive burning amount. In addition, the center of heat release rate curve closes to the top-dead-center at the high engine load and fuel economy is improved. Increasing engine speed and advancing fuel injection timing can enhance the maximum rate of heat release and the maximum cylinder pressure.

Keywords: diesel engine; methanol; combustion characteristics

与汽油机相比, 柴油机具有热效率高和输出功率大等优点, 应用领域广泛, 但柴油机的发展却始终受到 NO_x 和碳烟排放的制约. 这主要因为: 在传统的柴油机中, 燃油是在压缩冲程末喷入气缸, 混合气温度和浓度的空间分布极不均匀, 而 NO_x 和碳烟的生成量主要取决于缸内混合气的温度和浓度, 降低其中一项将会导致另一项增加.

甲醇是一种高含氧燃料, 其燃烧速度快, 着火界限宽, 燃烧污染物排放少, 被认为是内燃机很有发展前景的清洁代用燃料. 由于甲醇的十六烷值低, 汽化潜热大, 在柴油机上直接应用较为困难. 人们对采用柴油引燃甲醇的双燃料燃烧模式进行了广泛研究^[1-7], 即在柴油机的进气管靠近缸盖处, 安装一套电控甲醇喷射装置, 此装置可以根据发动机的转速

和负荷将一定量的甲醇喷入进气管中,随进气进入气缸形成均匀的混合气.引燃燃料柴油由原供油系统供给,供油提前角 θ 为 21° (上止点前,以下相同),在上止点前喷入缸内引燃甲醇空气的均匀混合气.这种燃烧方式同时具有点火式和压燃式发动机燃烧的特点.文献[1-7]对柴油机燃用定比例甲醇柴油双燃料进行过研究,结果表明:最高爆发压力下降,压力升高率上升,放热率曲线呈单峰形,碳烟和 NO_x 排放同时降低,但引燃油量对发动机燃烧的影响研究较少.

本文着重研究引燃油量对甲醇柴油双燃料发动机燃烧特性的影响,为甲醇在柴油机上的应用提供更广泛的理论基础.

1 试验条件和方法

试验用发动机为TY-1100型柴油机(立式、单缸、四冲程、强制水冷),主要性能和结构参数如下:缸径为100 mm,活塞行程为115 mm,燃烧室为 ω 型,压缩比 $\epsilon=18$,额定转速 $n=2\,300\text{ r/min}$,额定功率11 kW,活塞排量0.903 L.试验用AVL 619燃烧分析仪测录发动机缸内燃烧压力随曲轴转角的变化,通过计算得到压力升高率、主燃期、滞燃期、瞬时燃烧放热率等发动机燃烧过程的特征参数,来研究不同引燃油量 q 对甲醇柴油双燃料发动机燃烧特性的影响.

文中柴油当量消耗率 b_{eq} 和放热率曲线型心 φ_c 分别定义如下

$$b_{\text{eq}} = b_{\text{D}} + b_{\text{M}}H_{\text{M}}/H_{\text{D}}$$

$$\varphi_c = \frac{\int_{\varphi_s}^{\varphi_e} (dQ_{\text{B}}/d\varphi)\varphi d\varphi}{\int_{\varphi_s}^{\varphi_e} (dQ_{\text{B}}/d\varphi) d\varphi}$$

式中: b_{D} 为柴油消耗率; b_{M} 为甲醇消耗率; H_{M} 为甲醇低热值; H_{D} 为柴油低热值; φ_s 为燃烧始点; φ_e 为燃烧终点.燃烧始点和燃烧终点分别定义为燃料燃烧了5%和90%时所对应的曲轴转角,主燃期为燃烧始点至燃烧终点对应的曲轴转角,滞燃期为针阀升程信号确定的喷油始点至燃烧始点对应的曲轴转角.

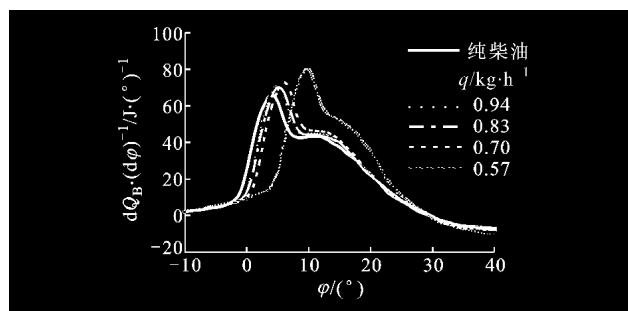
2 燃烧分析

1 600 r/min是发动机的最大转矩点,原机在该点的燃油经济性和排放性最差,因此试验主要集中在1 600 r/min转速上.采用柴油引燃均质可燃预混合气的双燃料燃烧模式,引燃柴油油量一般很小,为保

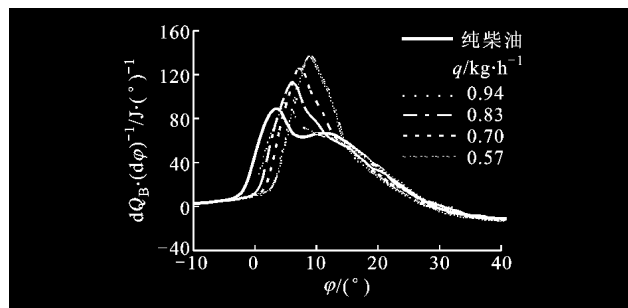
证引燃柴油雾化良好和喷油器正常冷却,循环引燃柴油油量控制在不小于发动机额定功率下循环喷油量的5%~10%,同时保证双燃料发动机的动力性不低于原柴油机.试验中引燃油量选择0.57、0.7、0.83、0.94 kg/h.

从图1可以看出,随着引燃油量的减小,放热率($dQ_{\text{B}}/d\varphi$)曲线第1峰值增大,第2峰值减小,直至不明显.这是因为引燃油量小,要达到相同的功率,喷入的甲醇自然就多,甲醇高的汽化潜热值导致了进气温度降低.同时,柴油在引燃甲醇的自燃过程中,二者混在一起,相应的混合燃料蒸气的十六烷值降低,双燃料燃烧的滞燃期(φ_{lg})延长,如图2a所示.由于滞燃期的延长,滞燃期内形成的可燃混合气增加,一旦着火,就会形成多点点火,且火焰传播距离缩短,加上此时由进气涡流和挤流造成的湍流强度大和甲醇燃烧速度快(0.48 m/s),其燃烧速度必然要比采用扩散燃烧方式的柴油快,导致放热率曲线峰值增大,这也是双燃料燃烧的主燃期(φ_{th})缩短的原因,如图2b所示.从图1还可以看出,双燃料燃烧始点晚于纯柴油,且随着引燃油量的减小,燃烧始点依次滞后.

从图3可以看出:放热率曲线的型心曲轴转角是燃烧放热率面积的型心距离上止点的曲轴转角,相应的型心曲轴转角越小,表明整个燃烧放热过程越靠近上止点,燃烧过程的等容度好,热效率高,发动机的经济性改善.



(a) $b_{\text{mep}}=0.35\text{ MPa}$



(b) $b_{\text{mep}}=0.56\text{ MPa}$

图1 放热率曲线

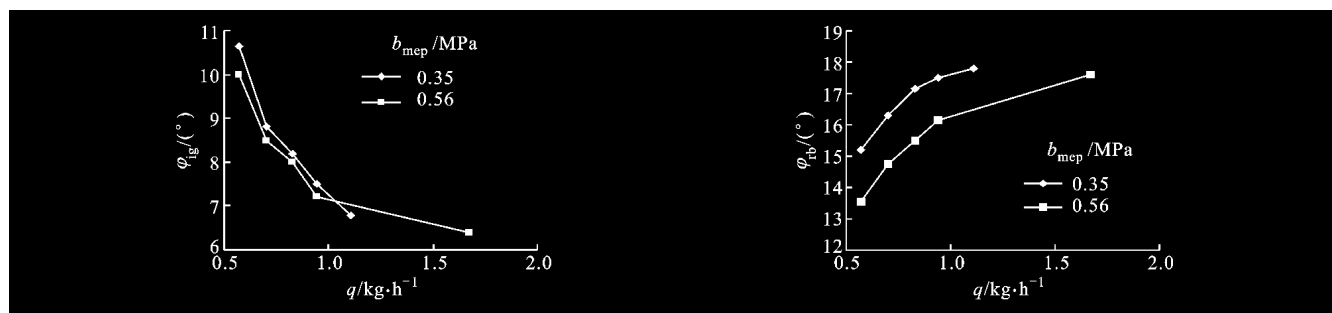
由图 3 还可以看出:在低负荷($b_{\text{mep}} = 0.35$ MPa)时,放热率曲线型心远离上止点,在高负荷($b_{\text{mep}} = 0.56$ MPa)时趋于靠近上止点.这是因为:在低负荷情况下,发动机的热负荷小,甲醇喷入后汽化吸热,降低进气温度,使压缩终点温度也同时降低,滞燃期延长,放热率曲线整体后移(见图 1a),随着引燃油量的减小,即甲醇喷入量的增加,上述情况加剧,导致整个曲线远离上止点;在高负荷时,与燃用纯柴油相比,虽然滞燃期有所延长,但燃烧持续期缩短,放热比较集中(见图 1b),整个曲线向上止点移动,同时燃油消耗率下降(见图 4),热效率上升,这说明双燃料发动机适合在高负荷情况下运行.

从图 5 和图 6 可以看出:在低负荷($b_{\text{mep}} = 0.35$ MPa)时,缸内气体最高爆发压力和最大压力升高率随着引燃油量的减小而降低;在高负荷($b_{\text{mep}} = 0.56$

MPa)时,甲醇较快的燃烧速度占主导因素,缸内气体最高爆发压力和最大压力升高率随着引燃油量的减小而增加.但是,由于燃烧滞后,尤其是最大压力升高率发生在上止点后,使双燃料发动机的最大压力和燃烧噪声未有明显的增加,且其最大压力较原柴油机的更靠近上止点,使平均指示压力增大,动力性提高.

从图 7 可以看出:随着转速的提高,双燃料燃烧延迟,放热率曲线整体后移.转速的提高增加了湍流强度,导致放热率上升,故最大放热率增加.

从图 8 可以看出:随着喷油提前角的增大,柴油较早地引燃甲醇空气的均匀混合气,双燃料燃烧的延迟阶段缩短,使得速燃期内缸内压力迅速上升,且压力最大值增加.



(a) 滞燃期

(b) 主燃期

图 2 滞燃期和主燃期

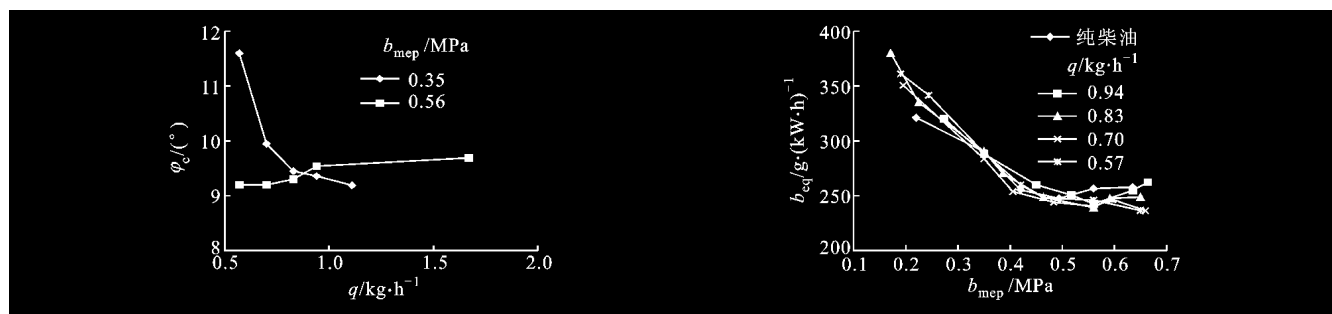


图 3 放热率曲线型心对应的曲轴转角

图 4 柴油当量消耗率

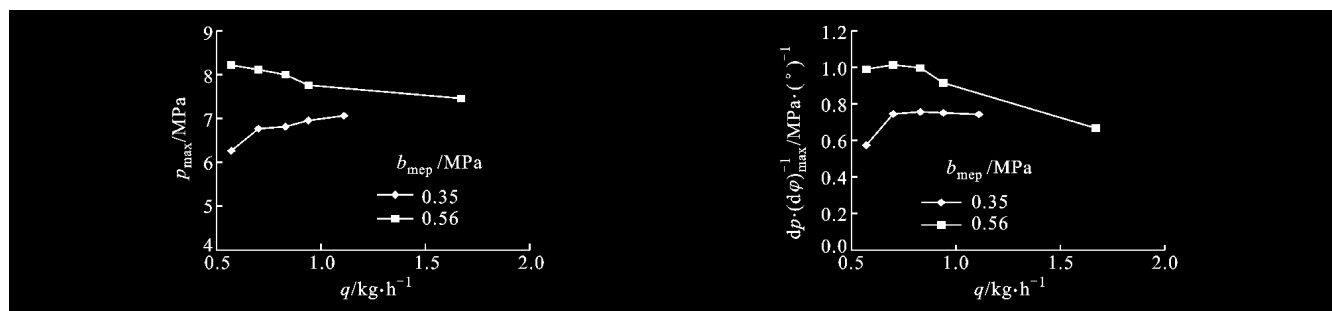


图 5 缸内气体最高压力

图 6 最大压力升高率

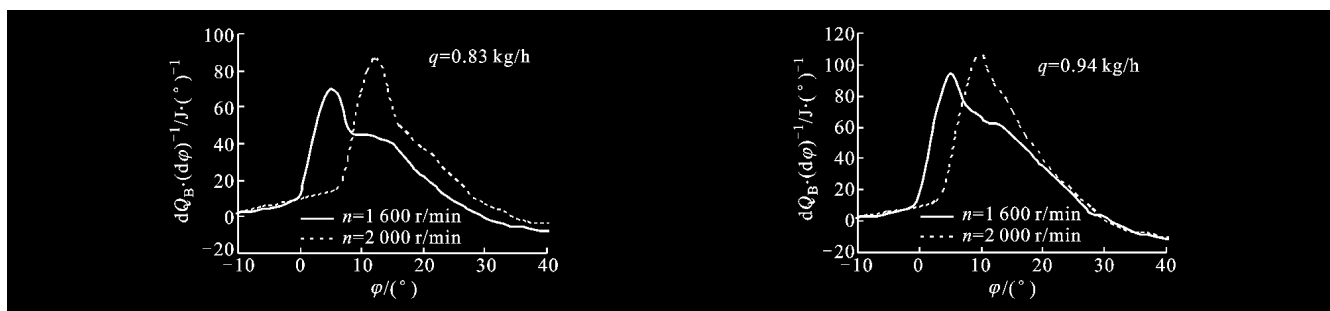
(a) $b_{mep}=0.35$ MPa(b) $b_{mep}=0.56$ MPa

图7 不同发动机转速下的放热率

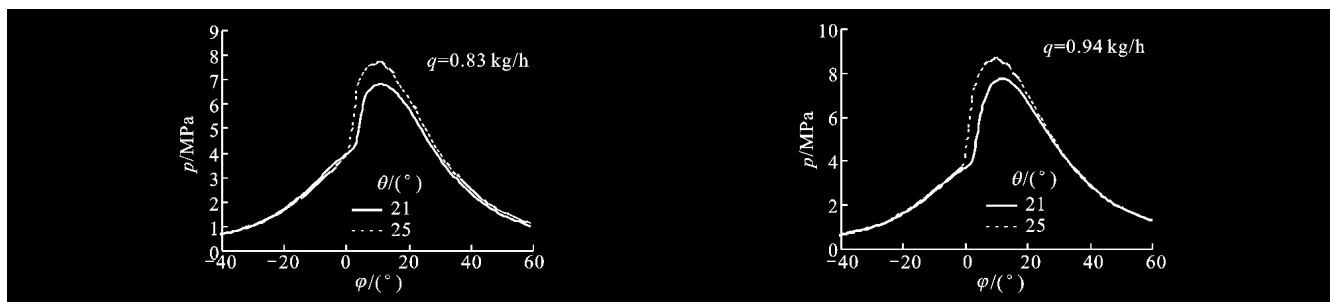
(a) $b_{mep}=0.35$ MPa(b) $b_{mep}=0.56$ MPa

图8 供油提前角对压力的影响

试验发现,如果引燃油量过小,发动机难以达到原机的功率水平,即便增加喷油量,不仅不能增加功率,而且易使燃烧和排放恶化,所以追求过高的柴油替代率对发动机的综合性能不利,因此选择一个合适的引燃油量是至关重要的。

3 结 论

(1) 在相同的平均有效压力和转速下,随着引燃油量的减小,双燃料发动机滞燃期延长,主燃期缩短,由此导致预混燃烧量增加而扩散燃烧量减少,放热率曲线第1峰值增大,第2峰值减小。

(2) 在高负荷时,双燃料发动机放热率曲线型心趋于靠近上止点,燃烧等容度和热效率均提高,柴油当量比油耗下降。随着引燃油量的减小,双燃料发动机燃烧缸内气体最高爆发压力和最大压力升高率均增加,且最大压力升高率处于上止点后,燃烧噪声未有明显的增加。

(3) 转速的提高使得双燃料发动机燃烧延迟,主燃期与上止点偏离,最大放热率增大,增大供油提前角,主燃期内缸内压力迅速上升,且压力最大值增加。

参考文献:

- [1] 姚春德,段峰,李云强,等. 柴油/甲醇组合燃烧发动机的燃烧特性和排放特性[J]. 燃烧科学与技术, 2005, 11(3): 214-217.
- Yao Chunde, Duan Feng, Li Yunqiang, et al. Com-

bustions characteristics and emissions of the compound combustion of the diesel engine[J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2005, 11(3): 214-217.

- [2] 汪洋,蒋宁涛,郑尊清,等. 甲醇/柴油双燃料发动机的性能[J]. 燃烧科学与技术, 2004, 10(5): 451-454.
- Wang Yang, Jiang Ningtao, Zheng Zunqing, et al. Performance of a methanol/diesel dual fuel engine[J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2004, 10(5): 451-454.
- [3] 姚春德,李云强,王银山,等. 柴油机进气预混甲醇降低碳烟与 NO_x 排放的试验研究[J]. 天津大学学报, 2004, 37(9): 759-764.
- Yao Chunde, Li Yunqiang, Wang Yinshan, et al. Reduction of soot and NO_x emissions by pre-mixed methanol through intake manifold on a diesel engine[J]. Journal of Tianjin University, 2004, 37(9): 759-764.
- [4] Shi Shaoxi, Fu Maolin, Zhang Dexian. An investigation of burning methanol as alternative fuel by dual fuelling method in compression ignition engine[C]// Shi Shaoxi. The Articles of Professor Shi Shaoxi. Tianjin: Tianjin University Press, 1996: 463-476.
- [5] Shi Shaoxi, Zhao Kuihan, Fu Maolin, et al. An investigation of using methanol as an alternative fuel for diesel engines[C]// Shi Shaoxi. The Articles of Professor Shi Shaoxi. Tianjin: Tianjin University Press, 1996: 451-462.

- [6] Ramadan B H, Hamady F J, Gray C L, et al. Numerical evaluation of a methanol fueled directly-injected engine[J]. SAE Transactions, 2002, 111(4): 1264-1273.
- [7] Popa M G, Negurescu N, Pana C, et al. Results obtained by methanol fuelling diesel engine[C]// Holt D J. Alternative Diesel Fuels, Warrendale, USA: SAE, Inc., 2004: 21-32.

(编辑 王焕雪)