

甲醇/柴油混合燃料柴油机性能试验研究及分析

李顶根, 叶 阳

(华中科技大学能源与动力工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 在一台 YC6105 型六缸直列直喷柴油机上进行了燃用甲醇/柴油混合燃料对柴油机性能和排放影响的研究。试验结果表明: 使用甲醇/柴油混合燃料柴油机具有相对较好的动力输出特性; 与使用纯柴油燃料相比, NO_x 排放大幅下降, 碳烟排放明显减少, 并对 CO 排放有很强的抑制作用; 对 HC 排放影响不大, 但在高速高负荷时会促进 HC 生成。

关键词: 柴油机; 甲醇; 混合燃料; 性能

中图分类号: TK421⁺.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2012)05-0017-05

Study and Analysis on the Performance Test of a Diesel Engine Fuelled with Methanol/Diesel Blends

Li Dinggen, Ye Yang

(Energy and Power Engineering Institute, Huazhong University of Science & Technology, Hubei Wuhan 430074)

Abstract: Engine experiments were conducted on an YC6105 diesel engine fuelled with methanol/diesel blends, its influence on engine performance and formation of diesel engine pollutants were analyzed. The results of experiments showed that: the diesel engine fuelled with methanol/diesel blends had good engine dynamic characteristics; compared with pure diesel, the mixed fuel could lead to a significant decrease in NO_x , soot and CO emissions, but had little influence on HC, except under the condition of high speed and high duty when HC emissions was found to increase.

Keywords: diesel engine; methanol; mixed fuel; performance

0 引 言

柴油机作为目前热效率最高的内燃机以其较好的动力性、经济性、耐久性被广泛地应用于工程实际中。相比于汽油机, 柴油机具有更好的可靠性, 燃油经济性及低转速扭矩特性。然而随着人们对环境保护的要求日益迫切, 排放法规的日益严格, 柴油机较高的 NO_x 和碳烟排放成为制约其发展的重要因素之一。石油作为一种不可再生资源日益面临枯竭危险, 寻找可靠的代用燃料迫在眉睫。目前内燃机的代用燃料有沼气、氢气、天然气、液化石油

气、二甲醚、醇类、酯类和复合燃料等^{[1][2]}, 其中甲醇以其优异的特性引发人们关注。

甲醇是一种高含氧液体燃料, 其燃烧速度快、着火界限宽、燃烧污染物排放少, 并且制备简单, 来源广泛, 被认为是内燃机很有发展前景的清洁代用燃料。然而由于甲醇十六烷值低, 气化潜热大, 直接用作柴油机燃料比较困难。目前甲醇主要结合柴油共同作为柴油机的燃料^{[3][4][5]}, 其主要形式有以下三种: 甲醇作为添加燃料, 直接与柴油混合, 形成混合燃料使用; 甲醇与柴油在柴油机缸内进行双喷, 形成甲醇柴油混合气; 甲醇在进气管内低压喷射, 并在缸内喷射柴油加以引燃。

收稿日期: 2012-02-13; 修回日期: 2012-06-26

作者简介: 李顶根(1977-), 男, 副教授, 博士, 主要研究方向为发动机电控、清洁动力控制, E-mail: lidinggen@sina.com。

本文着重研究甲醇作为添加燃料使用时柴油机的性能，并通过与纯柴油燃料柴油机的性能对比试验分析掺混燃烧的优劣性。

1 甲醇柴油掺混特性理化分析

甲醇与柴油的理化性质(见表 1)差异比较大，因此会造成作为燃料使用上的差异。当两种燃料混合使用时，燃料的性质会受到相互影响。由于甲醇与柴油物性差距大，互溶性^[6]比较差，且密度不同，直接将甲醇与柴油混合在一起不能得到混合均匀的燃料，并可能出现分层，不均匀的燃料将严重影响其燃烧性能^[7]。一般制备甲醇/柴油混合燃料需要加助溶剂，使难以混溶的甲醇与柴油形成稳定期长的混合燃料。

表 1 甲醇与柴油理化特性参数

参数	柴油	甲醇
密度/(kg·L ⁻¹)	0.84	0.79
汽化潜热/(kJ·kg ⁻¹)	301	1100
十六烷值	40~45	3~5
辛烷值		110
燃料含氧量/%		50
运动黏度(20℃)/(m ² ·s ⁻¹)	2.5×10 ⁻⁶	0.75×10 ⁻⁶
沸点/℃	180~330	64.7
自燃温度/℃	<220	465
低热值/(MJ·kg ⁻¹)	42.5	19.6

如表 1 所示甲醇的汽化潜热远大于柴油，沸点很低，只有 64.7℃，因此当甲醇喷入缸内将迅速汽化，吸收缸内热量，降低缸壁及活塞温度，提高发动机充气效率，从而提高发动机的热效率；并且其汽化特性能够更容易形成均质混合气使燃烧更加充分。但这也使缸内初始温度较低，因而延长了柴油机的滞燃期，使发动机的工作更粗暴，噪声增加；但甲醇较高的辛烷值同时又能有效地抑制发动机的爆振、爆燃，因而它对发动机噪声的增加影响不明显。

甲醇分子结构简单，含氧量高，含碳量低，因而燃烧更迅速，有助于减少碳烟和 CO 的生成，并提高发动机的热效率。

甲醇的低热值远低于柴油。因此当发动机输出功率一定的情况下，甲醇柴油混合燃料所消耗的燃料比纯柴油要多，因此相同的条件下混合燃料的功率将有所下降。

甲醇的自燃温度为 465℃，相比于柴油要高很多，因此甲醇并不适合直接用作压燃式发动机燃料；然而甲醇和柴油的混合能够有效地弥补这一弱

点，柴油的燃烧能够引燃甲醇使之共同燃烧。
总之，甲醇较之柴油具有较高的汽化潜热、高自燃温度、高辛烷值、高含氧量、低含碳量、低运动黏度、低沸点、低十六烷值和低热值等，从而影响发动机的滞燃期、雾化特性、排放特性等诸多参数。因此，在不改变发动机参数的情况下，研究添加少量甲醇的甲醇柴油掺混燃料非常具有实际意义。

2 试验方法及过程

试验对象为 YC6105 六缸直列四冲程柴油机，其主要参数如表 2 所示。

表 2 试验用 YC6105 柴油机主要技术参数

喷油泵型号	BHD6A95YAY017
供油提前角/(°)	12
额定转速/(r·min ⁻¹)	2 800
额定功率/kW	95.6
最大扭矩/(N·m)/(r·min ⁻¹)	372/1 800
怠速转速/(r·min ⁻¹)	600

除了试验用柴油机以外，试验还需测功机、发动机试验自动控制系统、废气排放仪、烟度仪、声级计等主要测试设备，组成测试台架。

试验选用 0#轻柴油、甲醇/柴油混合燃料 M15(以下简称 M15)，在相同条件下在同一台柴油机上进行性能对比试验。试验中甲醇/柴油混合燃料以甲醇占混合燃料的重量百分比作为命名，如甲醇/柴油混合燃料 M15 中甲醇占总混合燃料质量百分比为 15%。试验采用标准为：GB/T 6072.1-2000 内燃机台架性能试验方法；GB/T3847-1999 压燃式发动机和装用压燃式发动机的车辆排气可见污染物限值及测试方法；GB9486-1988 柴油机稳态排气烟度及测量方法。进行了燃用 0#轻柴油的总功率特性试验，燃用 M15 的总功率特性试验。

3 试验结果及分析

3.1 动力性输出分析

在室温情况下发动机使用甲醇/柴油混合燃料，冷起动及热起动性能良好，都能一次性起动成功。图 1 为在原柴油机结构及参数都未变动的情况下，使用 0#柴油、M15 发动机输出功率随转速的变化。相同转速下随着甲醇含量的增加发动机的输出功率有所下降。在柴油机额定转速 2 800 (r·min⁻¹)时，使用 0#柴油的最大功率为 90.2 kW，使用 M15 的最大功率比使用 0#柴油时下降 3.0%~12.3%，平均下降 9.0%。这主要是因为甲醇的低热值(19.7 (MJ·kg⁻¹))比柴油的

低热值($42.5\text{ (MJ}\cdot\text{kg}^{-1})$)低得多,其十六烷值也比柴油要低很多,所以随着甲醇含量增加,发动机功率也逐渐下降。

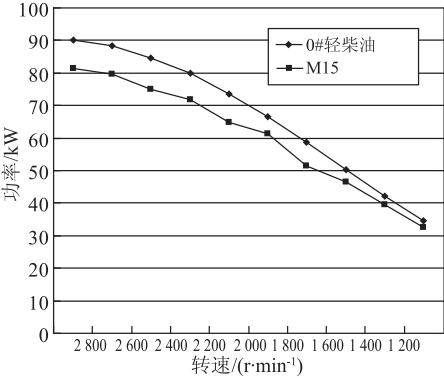


图 1 不同转速下发动机的功率输出

同样,发动机的输出转矩也随着甲醇含量增加而有所下降,发动机转矩、转速及输出功率三者存在如下关系:

$$N_e = \frac{2\pi n M_e}{1\,000}$$

其中: N_e 为发动机输出功率, M_e 为发动机转矩, n 为发动机转速。图2为使用0#柴油、M15发动机的输出转矩随转速的变化。柴油机使用0#柴油、M15时的最大扭矩分别为 $352.4\text{ (N}\cdot\text{m)}/1\,800\text{ (r}\cdot\text{min}^{-1})$ 、 $322.4\text{ (N}\cdot\text{m)}/1\,800\text{ (r}\cdot\text{min}^{-1})$,使用M15时的最大扭矩下降了8.5%,而最大扭矩点的转速为 $1\,800\text{ (r}\cdot\text{min}^{-1})$ 。这是由于甲醇/柴油混合燃料的低热值比柴油低,加入甲醇后燃料循环放热量减少,燃烧滞燃期延长,燃烧温度和缸内最高温度下降,导致动力性有所下降。

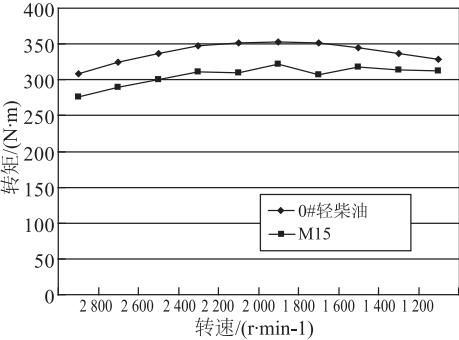


图 2 不同转速下发动机的转矩输出

3.2 燃油消耗及排温分析

由图3可以看出含甲醇的柴油其小时油耗高,这是由于甲醇热值比较低,为了满足发动机的功率输出,需要燃用更多的燃料;甲醇汽化潜热较大,降低了缸内燃烧温度,所以柴油掺杂甲醇时能量消耗率会增加。但由于甲醇所占份额有限,小时油耗增加不大。

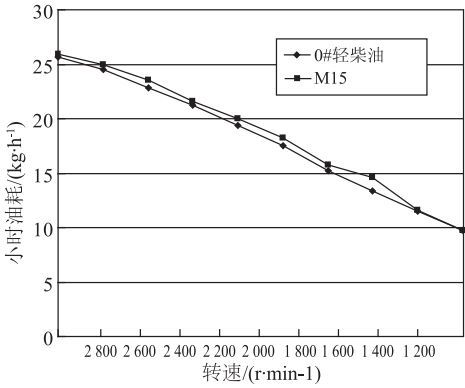


图 3 不同转速下发动机的小时油耗

同理,与纯柴油相比,甲醇/柴油混合燃料的比油耗也相对较高,图4为使用0#柴油、M15发动机比油耗随转速的变化,最低比油耗分别为 $260.07\text{ (g}\cdot\text{(kW}\cdot\text{h)}^{-1})$ 及 $294.20\text{ (g}\cdot\text{(kW}\cdot\text{h)}^{-1})$ 。

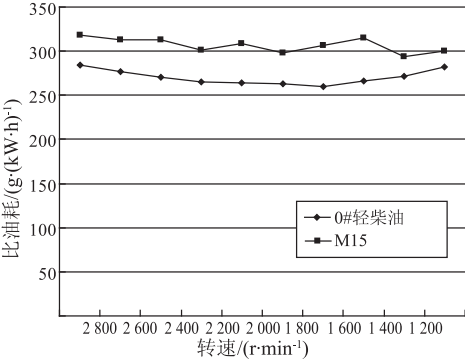


图 4 不同转速下发动机的比油耗

图5为使用0#柴油、M15发动机排气温度随转速的变化。柴油机使用混合燃料后,各工况的排气温度均有所下降,下降幅度为0.8%~10%,平均下降5.7%。由于甲醇的汽化潜热比较大,混合燃料汽化所需的热量比纯柴油多,所以燃烧前的缸内温度也比纯柴油的低,故其排气温度相对较低,这有利于降低零件的热负荷,高负荷时尤为明显,从而提高了高负荷时的燃油经济性。

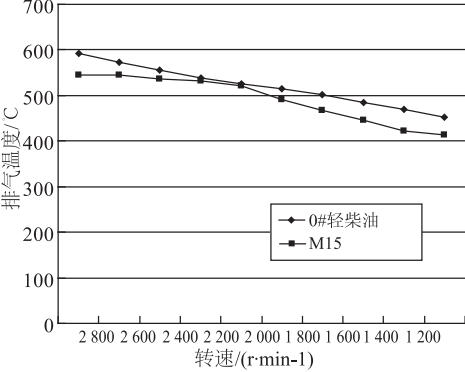


图 5 不同转速下发动机的排气温度

3.3 污染物排放及噪声分析

如图 6 所示，甲醇/柴油混合燃料的碳烟生成明显小于纯柴油燃料。甲醇是一种高含氧的液体燃料，分子质量小、分子结构简单，化学当量比柴油低，C/H 原子比较小，其着火极限较柴油着火极限宽，所以燃烧速度快，有利于降低碳烟排放；甲醇在燃烧过程中有自供氧效应，使燃料燃烧更充分；甲醇气化潜热大，缸内燃烧温度低，不利于碳烟生成^[8]。

自由加速烟度试验结果如下：

- (1) 使用 0#柴油时的自由加速烟度 (m^{-1})：1.07、1.05、1.19，平均值为 1.1。
- (2) 使用 M15 柴油时的自由加速烟度 (m^{-1})：0.42、0.43、0.46，平均值为 0.44。

从中可以看出当甲醇和柴油维持在一定比例内时，随着甲醇含量的增加，碳烟排放越低。

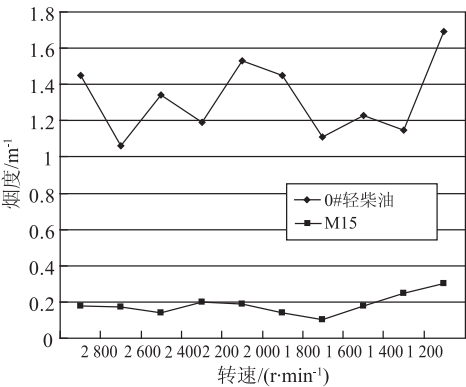


图 6 不同转速下发动机排放烟度

图 7 为不同转速下发动机 NO_x 排放，可见添加甲醇有效地降低了 NO_x 的排放，特别在低转速时效果更加明显。 NO_x 主要在高温、富氧及长期处于高温的环境中生成^{[9][10]}，甲醇的气化潜热大，是柴油的三倍，在形成混合气时能够一定程度上降低缸内温度，并且甲醇的热值低，相同质量燃烧产生的热量少，降低缸内的燃烧温度，抑制了 NO_x 生成。

从图 8 中可以看出，甲醇/柴油混合燃料的 CO 生成一直维持在比较低的水平，并随着甲醇含量的增加而减少；而使用纯柴油燃料 CO 生成比较高，并随着转速降低而增加。CO 是燃烧不充分造成的，容易在低温缺氧的燃烧环境中生成。由于甲醇是高含氧的燃料，减弱了对进气中氧的需求，且甲醇沸点低，黏度小，燃气混合更充分，因此在相同充气效率下，甲醇/柴油混合燃料比纯柴油燃料燃烧更充分，更不容易生成 CO。而纯柴油的 CO 生成明

显偏高，且随着转速的降低而升高，这是由于随着转速降低发动机负荷降低，缸内温度降低，导致 CO 生成量增加。

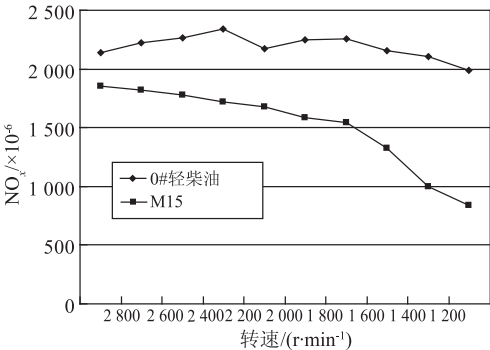


图 7 不同转速下发动机 NO_x 排放

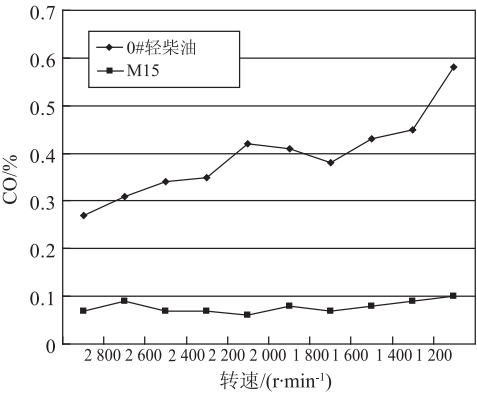


图 8 不同转速下发动机废气中 CO 所占百分比

图 9 为不同转速下发动机废气中 HC 的占有量，可见甲醇在污染物 HC 生成的抑制上效果不是很突出。因为甲醇富含氧有利于燃料的完全燃烧，因此它对 HC 生成有一定的抑制作用。但它的气化潜热大，又使缸内温度降低，有利于 HC 生成。两种因素共同作用下效果就不明显了；甚至当发动机在高速高负荷运行时，它的负面作用占主导，反而增加了 HC 生成。

图 10 为燃用 0#柴油、M15 燃料时发动机不同转速下的噪声级，可见甲醇/柴油混合燃料在柴油机上使用，随着甲醇含量的增加噪声增大。因为甲醇的汽化潜热大，至使缸内温度降低，十六烷值低，自然温度高，延长了滞燃期，在滞燃期形成的可燃混合气增多，燃烧开始后，压力升高率和最高燃烧压力较高，工作粗暴，噪声增强。但当甲醇的含量在适当的范围内时，噪声的增加量有限，并不影响发动机正常工作。

4 结 论

- (1) 在柴油机结构参数都不变的情况下，使用

甲醇/柴油混合燃料时柴油机的有害排放物明显降低，其中：CO、NO_x、碳烟排放下降幅度都很大，但对 HC 排放影响不大。

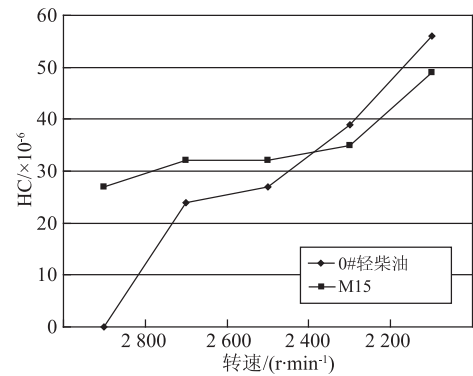


图 9 不同转速下发动机废气中 HC 占有量

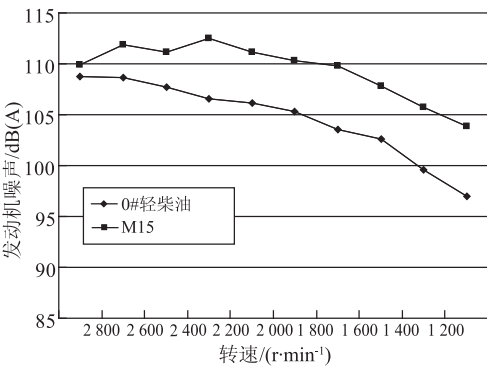


图 10 不同转速下发动机的噪声级

(2) 使用甲醇/柴油混合燃料时柴油机的噪声略有增加，但最高不超过国家标准限值，故整体影响不大，实际使用时可对发动机的结构略作调整。

(3) 使用甲醇/柴油混合燃料时柴油机输出功率有所下降，如果车辆对功率下降不敏感，可以直接使用甲醇/柴油混合燃料代替柴油；如果需增加功率，可以加大喷油泵的每循环供油量并同时调整喷油提前角，使燃烧情况改善，降低比油耗。

参考文献

[1] 蒋德明,黄佐华. 内燃机替代燃料燃烧学[M]. 西安:西安交通大学出版社,2007.

[2] 李冠峰,梁爱琴,李遂亮,等. 我国车用代用燃料研发与应用现状[J]. 农机化研究,2007(6):197-201.

[3] 裴玉娇. 甲醇在柴油机上应用的技术进展[J]. 内燃机与配件,2011(9):27-29.

[4] 姚春德,李云强. 甲醇燃料在柴油机中的应用与发展[J]. 小型内燃机与摩托车,2004(1):37-40.

[5] 曹建喜,董松祥,商红岩,等. 甲醇柴油的研究进展[J]. 现代化工,2010(6):41-45.

[6] 焦向科,伍林,程正载,等. 柴油与工业醇的互溶性研究[J]. 化学与生物工程,2009(1):67-69.

[7] 宋睿智,王利军,张志进,等. 甲醇/柴油双燃料发动机工作区域的试验研究[J]. 内燃机工程,2008(10):7-10.

[8] 姚春德,张志辉,张镇顺. 柴油/甲醇组合燃烧发动机的微粒排放及催化转化特性[J]. 内燃机学报,2010(6):494-499.

[9] 姚春德,夏琦,陈绪平,等. 柴油在甲醇氛围中高效清洁燃烧机理[J]. 天津大学学报 2011(8):671-676.

[10] 侯令川,王忠,安玉光,等. 柴油机燃用甲醇-生物柴油混合燃料的性能与排放研究[J]. 车用发动机,2011(1):30-33.

信息动态

MAN 推出大型高速柴油机

为了填补最小型中速柴油机与最大型高速柴油机之间的空白，MAN Diesel & Turbo 将推出 D7 高速柴油机。该型机转速为 1 000 ~ 2 000 (r·min⁻¹) 时，输出功率为 1.5 ~ 5 MW。该机建立了节油、功率/重量比和大修间隔时间新标准。

D7 高速柴油机具有结构坚固、效率高、结构紧凑和强度高的特点。该机针对的目标市场为拖船、工作船、海上服务船和海上补给船、海军巡逻艇、超级游艇和快速渡轮。D7 高速柴油机还将为非船市场，如海上、岸上发电和铁路配套。

D7 高速柴油机将在 MAN Diesel & Turbo 的推进系统方面起核心作用。给用户提供的发动机将包括齿轮箱、螺旋桨、配电盘、辅助发电机组和能源存储解决方案。据悉，从 2014 年起，用户就可以订购 D7 高速柴油机了。

(李积轩 编译)