

甲醇柴油混合燃料对柴油机性能的影响^{*}

宫艳峰 胡铁刚 李跟宝 刘圣华 李庆 李天文

【摘要】 在一台4102QB型直喷式柴油机上研究了柴油与不同添加比例甲醇相混合的燃料对柴油机动力性能和排放性能的影响。试验结果表明,在柴油机参数不作任何改动的情况下,燃料中随着甲醇添加比例的增加,柴油机的动力性有所下降,柴油机烟度和CO的排放量都明显降低,但HC和NO_x的排放量有所增加。

关键词: 柴油机 甲醇 排放

中图分类号: TK421⁺.2

文献标识码: A

Effects of Methanol Diesel Blends on Performance and Emissions of a Diesel Engine

Gong Yanfeng¹ Hu Tiegang¹ Li Genbao¹ Liu Shenghua¹ Li Qing² Li Tianwen²

(1. Xi'an Jiaotong University 2. Sichuan Lu Tian Hua (Group))

Abstract

Engine experiments were conducted on a 4102QB DI diesel engine to study the effects of the mixed fuels on engine performance and emission characteristics. The fuels are pure 0[#] commercial diesel fuel and its blends containing different proportions of methanol. Compared with pure diesel, blended fuels lower the engine power output a little. The emissions of smoke and CO are reduced with the increase of methanol percentage, while the emissions of NO_x and HC increase under the same engine operating parameters and conditions.

Key words Diesel engine, Methanol, Emission

引言

通常降低内燃机的有害气体排放可以从完善内燃机的设计、尾气后处理和使用清洁燃料3个方面入手^[1]。对于柴油机而言,在设计和排气后处理方面目前还没有经济可行的简便措施可以大幅度降低这些有害物的生成与排放,因而清洁燃料的研究和应用成为目前研究的热点之一。

柴油机具有功率大、油耗低、HC和CO排放低的优点,但柴油机的缺点是排放烟度高。要克服柴油机的这一缺点,使用含氧燃料或作为含氧添加剂与

柴油混合,被认为是有效降低柴油机烟度及HC、CO排放的有效措施^[2]。本文利用助溶剂将甲醇与柴油以不同比例混合制备混合燃料,在不调整发动机结构和运转参数的条件下,研究不同甲醇添加比例的柴油/甲醇混合燃料对柴油机动力性及排放性能的影响。

1 甲醇与柴油的燃料特点

甲醇与柴油的燃料特性参数见表1。甲醇分子结构简单,含氧量高达50%,因此与柴油混合燃烧可以降低烟度及CO的排放^[3]。甲醇的分子式为

收稿日期: 2005-09-05

* 国家“973”重点基础研究发展计划资助项目(项目编号:2001CB209206)

宫艳峰 西安交通大学能源与动力工程学院 博士生, 710049 西安市

胡铁刚 西安交通大学能源与动力工程学院 博士生

李跟宝 西安交通大学能源与动力工程学院 博士生

刘圣华 西安交通大学能源与动力工程学院 教授 博士生导师

李庆 四川泸天化(集团)有限责任公司技术中心 工程师, 646300 泸州市

李天文 四川泸天化(集团)有限责任公司技术中心 高级工程师

CH₃OH,含有一个羟基,是极性化合物,与柴油物性的差异较大,难以互溶。因此,为了制备两者的混合燃料,需要选用合适的助溶剂,本次试验所采用的助溶剂能保证两者的完全互溶,而且混合物性质稳定,不分层。

表1 甲醇和柴油燃料特性参数

Tab. 1 Properties of methanol and diesel

参数	柴油	甲醇
密度/kg·L ⁻¹	0.84	0.79
沸点/°C	180~330	64.7
汽化潜热/kJ·kg ⁻¹	301	1 109
辛烷值		110
十六烷值	40~45	3~5
自然温度/°C	≤220	465
低热值/MJ·kg ⁻¹	42.5	19.6
化学计量比	14.3	6.45
化学计量比混合气低热值/MJ·m ⁻³	3.8	3.9
燃料含氧量/%	<0.4	50

甲醇的低热值低,仅为柴油的46%,燃烧所需的理论空气量是柴油的45.1%,理论混合气的热值大体与柴油相当。因此如果适当增大发动机的循环供油量,则可保持原柴油机的动力性。

2 试验设备及方案

试验是在一台直列4缸4冲程自然吸气、强制水冷发动机上进行的。发动机主要技术参数见表2。试验时原发动机参数未做任何调整,即发动机的供油压力、喷油嘴启喷压力、供油提前角等参数均为原机数值。柴油机工作的机油温度为90°C,冷却水温度80°C。烟度、HC、CO和NO_x的测量分别使用AVL DiSmoke 4000型和AVL DiGas 4000型分析仪。

表2 柴油机的参数

Tab. 2 Engine specifications

技术参数	指标
发动机型号	4102QB
缸径×冲程/mm×mm	102×115
排量/L	3.76
标定功率/kW	60
标定转速/r·min ⁻¹	3 000
最大扭矩/N·m	245
最大扭矩转速/r·min ⁻¹	1 800~2 100
供油提前角/°CA	14(BTDC)
燃烧室形状	ω形

为了研究添加不同比例甲醇的混合燃料对内燃机工作过程的影响,试验分别配置了甲醇质量分数为10%(1号甲醇)、20%(2号甲醇)和30%(3号甲醇)3种比例的甲醇柴油混合燃料,助溶剂的质量分

数依次为6%、13%和18%。

3 试验结果与分析

3.1 发动机的动力性分析

图1是发动机燃用几种燃料时的外特性曲线。从图中可见,对于混合燃料1号甲醇而言,发动机的最高输出功率下降约9.3%,但随着甲醇加入量的增加,相对而言,2号甲醇和3号甲醇混合燃料发动机的功率下降幅度较小,其降幅在2个百分点左右。各种燃料在标定转速下的功率下降较大,但是随发动机转速的降低,功率下降幅度逐步减小。

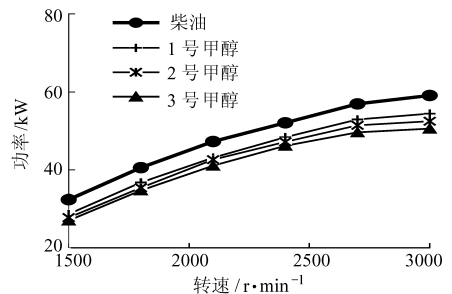


图1 功率的外特性曲线

Fig. 1 Full load engine power output

甲醇和助溶剂的加入使混合燃料的低热值降低,发动机的功率有下降的趋势。但是甲醇的十六烷值低,导致了混合燃料滞燃期延长,使预混燃烧量增加。由于甲醇的沸点低,含氧量高,有利于柴油的扩散^[4~5],改善燃烧,使燃烧的持续期变短。因此随混合燃料中甲醇质量分数的增加,燃烧特性的改变使发动机的功率下降幅度开始变小。

3.2 发动机的排放特性分析

柴油机的有害排放物主要是颗粒(PM)和氮氧化物(NO_x)。只有当柴油机工作达到或接近冒烟极限以后,CO排放才大大增加。

3.2.1 发动机的排放烟度

甲醇的沸点低,当柴油中混合一定比例的甲醇时,可以改善柴油喷射雾化特性,促进油束与空气的混合,再加上甲醇含氧量高达50%,同样体积的燃料对空气的需求量减少,因此能够减小排放烟度。发动机排放烟度的外特性曲线如图2所示,1号甲醇和2号甲醇混合燃料在标定点附近排放烟度较高,在其余各个工况下,发动机的排放烟度均下降约80%。

混合燃料对发动机排放烟度的影响还可以从负荷特性上反映出来。图3为发动机在1 800 r/min转速时的烟度测量结果。从图中可见,在中低负荷稳定运转工况下,无论是柴油还是混合燃料,发动机的排放烟度都非常低,这是由于柴油机燃烧时的过量空

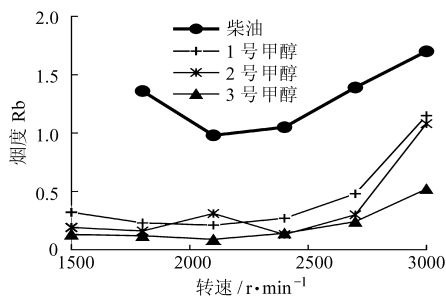


图 2 烟度的外特性曲线

Fig. 2 Smoke emissions at full load conditions

气系数较大的缘故；但当负荷高于一定程度后，燃烧的空燃比下降，柴油机燃烧恶化，烟度排放激增。而发动机燃用甲醇柴油混合燃料后，由于甲醇分子中氧的存在，混合燃料的空燃比提高，而且甲醇易于蒸发雾化，使得混合燃料扩散燃烧时过浓区减少，烟度降低。

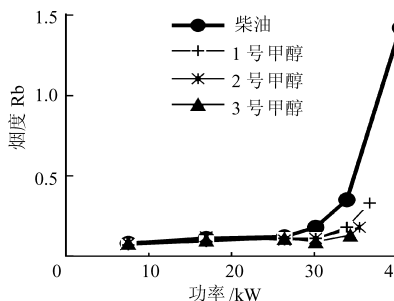


图 3 1800 r/min 时烟度的负荷特性曲线

Fig. 3 Smoke emissions at 1800 r/min

3.2.2 发动机的 NO_x 排放特性

NO_x 生成的 3 个条件为高温、富氧和高温持续时间。在全负荷条件下，甲醇的加入使滞燃期延长。小比例甲醇对燃烧温度的影响不大^[6]，此时甲醇 50% 的含氧量使 NO_x 的排放增加。当甲醇质量分数达到 30% 以上，滞燃期的延长使混合燃料的主燃烧推后，最高温度降低，NO_x 的排放下降，如图 4 所示。

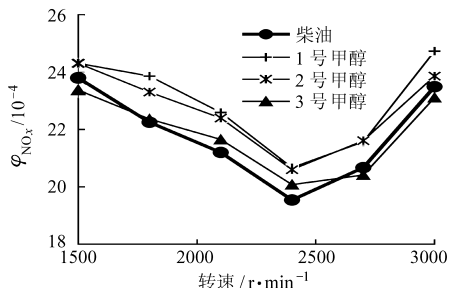


图 4 NO_x 排放的外特性曲线

Fig. 4 NO_x emissions at full load conditions

在中低负荷时，由于甲醇的汽化潜热高，混合气的温度降低，使整个燃烧的最高温度降低，从而抑制了 NO_x 的生成与排放，如图 5 所示的 NO_x 负荷特性曲线。总的看来，混合燃料使发动机 NO_x 排放变

化幅度不大，在 10⁻⁴ 以内。

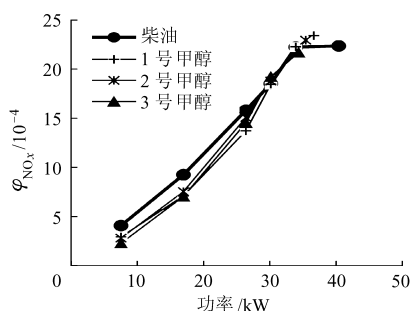


图 5 1800 r/min 时 NO_x 排放的负荷特性曲线

Fig. 5 NO_x emissions at 1800 r/min

3.2.3 发动机 HC 及 CO 的排放特性

甲醇溶入柴油后，由于甲醇容易蒸发，故在油束的外围可能造成过稀区混合气量增加，进而导致发动机的 HC 排放增加。甲醇柴油混合燃料的未燃碳氢排放见图 6 和图 7。

图 8 是柴油/甲醇混合燃料 CO 排放的外特性曲线，由于甲醇分子中含氧量较高，混合物始终处于

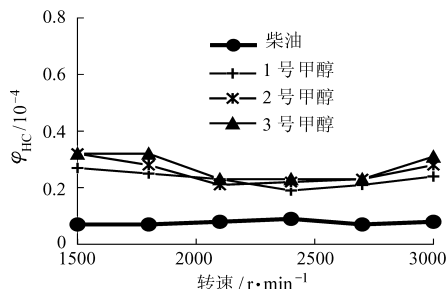


图 6 HC 排放的外特性曲线

Fig. 6 HC emissions at full load conditions

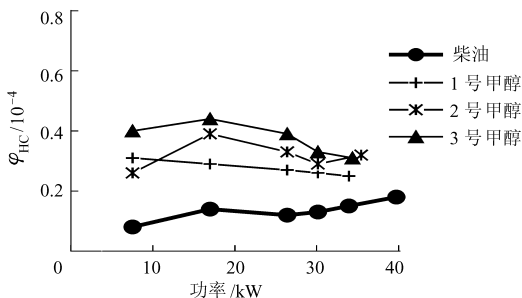


图 7 1800 r/min 时 HC 排放的负荷特性曲线

Fig. 7 HC emissions at 1800 r/min

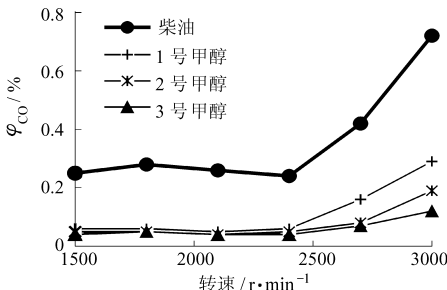


图 8 CO 排放的外特性曲线

Fig. 8 CO emissions at full load conditions

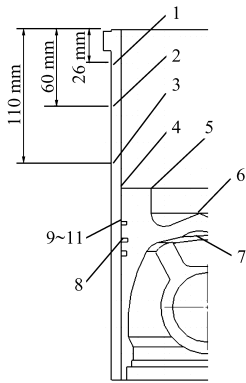


图9 测点编号及位置示意图

Fig. 9 Sketch map of measured point number and location

1、2、3. 缸套内壁 4. 活塞顶面外侧 5. 燃烧室喉口 6. 燃烧室
 顶尖 7. 活塞内腔顶 8. 第2道环岸 9. 第1道环槽 10. 第1
 道环岸上侧 11. 第1道环岸下侧

所示。从表中数据可以看出,计算值与测量值的误差较小。

6 结束语

用耦合传热的方法解决活塞-缸套间难以处理的边界条件,可以有效地简化有相互影响的传热计算。文中建立了瞬态耦合传热的物理和数学模型,并以X6130型柴油机为例进行了仿真计算。实验值与计算值吻合较好,这表明:耦合传热的方法对活塞-缸套的传热特性模拟效果较好。耦合传热方法是研究内燃机零部件之间复杂传热现象的有效方法。

参 考 文 献

- 1 Morel T, Fort E, Blumberg P. Effect of insulation strategy and design parameters on diesel heat rejection and performance[C]. SAE Paper 850506, 1985: 753~767.
- 2 白敏丽,丁铁新,吕继组. 活塞组-气缸套耦合传热模拟[J]. 内燃机学报, 2005, 23(2): 168~175.
- 3 杨世铭,陶文铨. 传热学[M]. 北京:高等教育出版社, 1998.
- 4 俞小莉,郑飞,严兆大. 内燃机气缸体内表面稳态传热边界条件的研究[J]. 内燃机学报, 1987, 5(4): 329~332.
- 5 俞小莉. 高速风冷柴油机气缸体内表面稳态传热边界条件的研究[D]. 杭州:浙江大学, 1986.
- 6 杨万里,陈燕,朱大林,等. 内燃机燃烧室零件循环瞬态传热模拟[J]. 机械工程学报, 2004, 40(10): 39~43.
- 7 Woshni G, Fieger J. Determination of local heat transfer coefficients at the piston of a high speed diesel engine by evaluation of measured temperature distribution[C]. SAE Paper 790834, 1979: 879~883.
- 8 Rhode S M. A mixed friction model for dynamically loaded contacts with application to piston ring lubrication[C]// Westbury Hoase: Proceedings 7th Leeds-Lyon Symposium on Tribology, 1980: 178~262.

(上接第51页)

富氧燃烧的状态,所以CO的排放降低,尤其在外特性曲线的高转速范围内,这种趋势更加明显。

4 结论

(1) 由于甲醇的加入,柴油机循环供油量未作调整时,燃料热值的降低使发动机的动力性下降,3种混合燃料较纯柴油发动机的标定功率分别下降

9.3%、11.2%和14.4%,相应的最大扭矩减少8.9%、10%和13.3%,总体上动力性有所下降,但是可以通过增加循环供油量的办法加以解决。

(2) 柴油机燃用3种甲醇与柴油的混合燃料可以使排气烟度在全负荷下降低约80%,CO的排放也同时降低。NO_x排放与原柴油机相当,发动机未燃碳氢的排放略有增加,但浓度仍然很低。

参 考 文 献

- 1 Yeh L I, Rickeard D J. Oxygenates: an evaluation of their effect on diesel emissions[C]. SAE Paper, 2001-01-2019.
- 2 Curran H J, Fisher E M, Glaude P A, et al. Detailed chemical kinetic modeling of diesel combustion with oxygenated fuels[C]. SAE Paper, 2001-01-0653.
- 3 何邦全,王建昕,阎小光. 柴油机含氧燃料的研究进展[J]. 农业机械学报, 2003, 34(1): 134~138.
- 4 黄佐华,卢红兵,蒋德明,等. 柴油机燃用柴油/甲醇混合燃料时的燃烧特性研究[J]. 内燃机学报, 2003, 21(6): 401~410.
- 5 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与排放[J]. 燃烧科学与技术, 2005, 11(3): 214~217.
- 6 马静. 柴油/甲醇双燃料发动机试验研究[D]. 西安:西安交通大学, 2005.