

乙醇掺混燃烧对柴油机油耗影响的实验研究

党 帅 钟北京 龚景松 袁 振
(清华大学 航天航空学院 北京 100084)

摘 要: 乙醇吸热后部分热解可产生多种气体的混合物,为了研究气体混合物掺混燃烧在柴油机上的节油效果,对柴油机系统进行了改造:乙醇通过安装在柴油机排气管上的小型高效换热器吸收烟气余热,部分热解后混合气体由进气道通入柴油机燃烧室改善燃烧。在该系统上进行了定功率 - 不同转速以及额定转速 - 不同功率下的节油试验,表明:该系统在高低功率条件下均有较好的节油和节能效果。柴油机转速为 1 500 r/min 时,节油率最高可达 40%,节能率最高可达 13.5%;在柴油机额定转速 2 000 r/min 时,节油率最高可达 24%,节能率最高可达 5.7%。结合乙醇热解的气体混合物的测量数据,得出了低功率下主要依靠乙醇蒸气,高功率下主要依靠小分子气体的节油原理。

关 键 词: 柴油机;乙醇;热解;节油
中图分类号: TQ322.4 文献标识码: B

引 言

乙醇用做燃料由来已久,目前巴西销售的全部小汽车中,乙醇汽车约占 30% ~ 40%,其它新车都是燃用乙醇/汽油混合燃料^[1]。然而乙醇和柴油不易互溶,致使乙醇在柴油机上应用困难。已经研制出的助溶添加剂可使乙醇和柴油互溶生成柴油醇,但其实用性较差。清华大学汽车工程系也在柴油机上研究了乙醇/柴油混合燃料的燃烧特性^[2]。文献 [3 ~ 5] 分别就柴油机燃用乙醇 - 柴油混合燃料、使用乙醇蒸气作为柴油机辅助燃料以及把乙醇作为辅助燃料喷入柴油机等进行了研究。

课题组在之前的研究工作中已就利用外部供能对乙醇进行高温分解,产生的分解气体进入柴油机燃烧室掺混燃烧做过相关研究^[6],节油效果较好,但是外部供能结构复杂。本研究改造制成了如下系统:将乙醇通过安装在柴油机排气管上的小型高效换热器,不需外部供能,吸收烟气余热后部分分解产生混合气体,混合气体由进气道通入柴油机燃烧室改善燃烧。进行了定功率 - 不同转速和额定转速 -

不同功率下的节油实验,分析了节油原理。

1 实验系统

实验系统如图 1 所示。图 1(a) 为系统工作示意图,图 1(b) 为系统和放大的换热器实物图。柴油机为 ZS1100 型四冲程、蒸发水冷、单缸直喷式柴油机,测功装置为水力测功仪;柴油机启动并稳定运行后,乙醇经过换热产氢器。柴油机参数如表 1 所示。改造后系统的工质吸收柴油机的排气管烟气的热量,部分或全部分解产生氢气、一氧化碳、甲烷等小分子碳氢化合物的混合气体,混合气体经过换热器通入柴油机的进气管与空气混合,然后进入燃烧室参与燃烧。换热器包括内管、外管和内部多个挡板,内管为多条铜管束,外管内壁为不锈钢。试验工况如表 2 所示。

节油率定义为:

$$q' = [(Q_p - Q_n) / Q_p] \cdot 100\% \quad (1)$$

综合节油率定义为:

$$Q' = [(Q_p - Q_n + q \cdot E_o / E_c) / Q_p] \cdot 100\% \quad (2)$$

式中: Q_p —未通入乙醇前的耗油量; Q_n —通入乙醇后的耗油量; q —乙醇的流量; E_o —柴油燃烧的热值,值为 46 000 kJ/kg; E_c —乙醇燃烧的热值,取为 26 780 kJ/kg,二者相除为单位质量乙醇按热值折算所对应的柴油耗油量。

表 1 ZS1100 柴油机参数

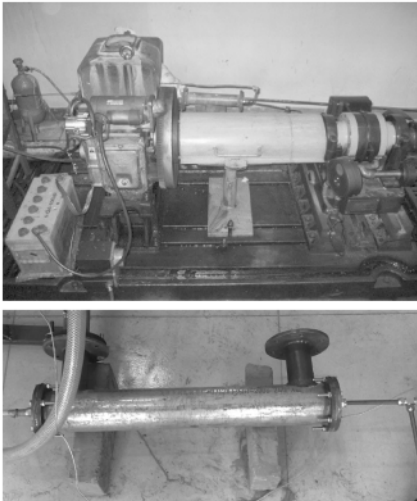
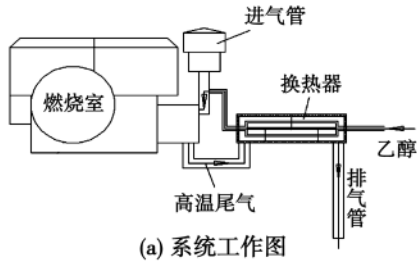
Tab. 1 Table of ZS1100 diesel engine parameters

参数		参数	
气缸直径/mm	100	活塞行程/mm	115
活塞排量/L	0.903	标定功率/kW	10.3
超负荷功率/kW	11.3	标定转速/r · min ⁻¹	2 000
压缩比	17.5	供油提前角/(°)	20 ± 1
喷油压力/MPa	18.1 ± 0.5	压缩余隙/mm	0.9 ± 0.1

收稿日期: 2011 - 06 - 20; 修订日期: 2011 - 10 - 14

基金项目: 国家 863 计划基金资助项目(2009AA05Z219)

作者简介: 党 帅(1984 -) 男, 山东潍坊人, 清华大学博士研究生。



(a) 系统工作图

(b) 系统实物图

图 1 乙醇为吸热载体的柴油机尾气余热利用系统图

Fig. 1 Drawing showing a diesel tail gas waste heat utilization system with ethanol serving as the endothermic carrier

表 2 柴油机测量工况表

Tab. 2 Table of operating conditions for testing a diesel engine

柴油机转速 /r · min ⁻¹	柴油机功率/kW	乙醇流量 /mL · min ⁻¹
1500, 1750, 2000	3	2, 4, 6, 8, 10
2000	1 ~ 10	2, 4, 6, 8, 10

2 实验结果与分析

2.1 定功率 - 不同转速

对系统改造前后柴油机的各项性能指标进行了测量,改造对柴油机性能没有明显影响。

首先进行定功率试验,如图 2 所示,功率为 3 kW。转速为 1 500 r/min 时节油率最高。乙醇流量为 2 mL/min 时节油率接近 20%,随着乙醇流量的变大,节油率随着上升,在乙醇流量为 10 mL/min 时可达 40%。其余两种转速条件下节油情况也具有相同的趋势,且二者节油率彼此接近。图 3 为 3

种转速下的综合节油率随乙醇流量的变化。综合节油率反应的是节能率。可见,从综合节油率的角度考虑,转速为 1 500 r/min 时,综合节油率很高,各乙醇流量下综合节油率均在 10% 以上,在乙醇流量为 2 mL/min 时,最高为 13.5%。其它两种转速下的综合节油率都在零附近,没有明显的节能效果。

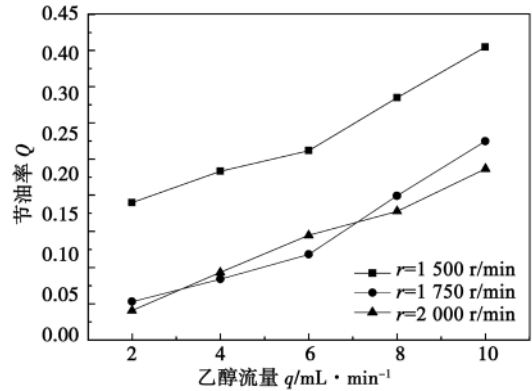


图 2 不同转速工况下的节油率随乙醇流量的变化图

Fig. 2 Chart showing a change of the oil saving rate with the ethanol flow rate at various rotating speeds

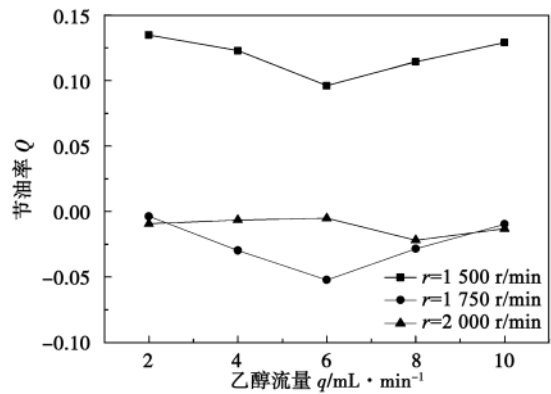


图 3 不同转速工况下的综合节油率随乙醇流量的变化图

Fig. 3 Chart showing a change of the comprehensive oil saving rate with the ethanol flow rate at various rotating speeds

当柴油机功率为 3 kW、转速为 1 500 r/min 时,该改造系统的综合节油效果最佳。若从节约能源的角度考虑,在此转速条件下,乙醇流量为 2 mL/min 时,掺混燃烧会取得最佳效果。由于柴油(石油)是不可再生能源,而乙醇是可再生能源,从节油考虑,乙醇流量为 10 mL/min 时节油效果最佳。当乙醇流量进一步增加时会出现燃烧状况不稳定、有黑烟产

生且单次测量结果波动大的现象。

2.2 额定转速 - 不同功率

ZS1100 柴油机的额定转速为 2 000 r/min ,所以进行了额定转速为 2 000 r/min、不同功率时的试验测量。乙醇流量 q 分别为 2 4 6 8 ,10 mL/min。不同功率时发动机的排气温度如图 4 所示。通入乙醇后发动机的排气温度有所下降 ,最长达 40 °C ,说明燃烧室内燃烧温度有所下降。

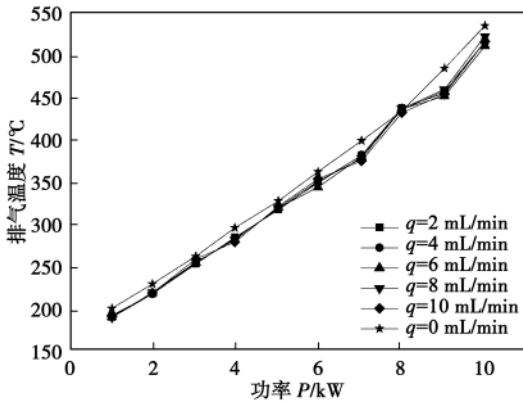


图 4 不同功率下发动机排气温度对比

Fig. 4 Chart showing the exhaust gas temperature contrast of an engine at various powers

不同功率时的节油率曲线如图 5 所示。随着乙醇流量的增加 ,节油率也逐渐增大。当乙醇流量为 10 mL/min 时在各功率条件下节油率均达到最大。在 $P = 2$ kW 时 ,节油率最高 ,为 24%。当功率为 6 kW、乙醇流量为 2 mL/min 时 ,节油率出现负值 ,重复实验后 ,仍然存在。可见 ,这个工况没有节油效果。在乙醇流量为 8 mL/min 时 ,柴油机功率在 4.5 kW 时 ,节油率波动较大 ,重复实验后 ,波动时有出现。可见 ,在该工况条件下 ,节油效果不稳定。当乙醇流量一定时 ,节油率随着功率变大而略有下降 ,这是因为功率变大时 ,耗油量作为节油率计算的分母且本身基数较大 ,所以节油率略有下降。

不同功率时综合节油率的对比如图 6 所示。可以看出 ,每个功率条件下均可找出综合节油率最高的点 ,也就是对应此功率条件下为了节能乙醇流量的最佳值。小功率条件(功率为 1 和 2 kW)下 ,乙醇流量为 2 mL/min 时为最优值 ,综合节油率分别为 3.5% 和 3.6% ;功率 $P = 3$ kW 时 ,乙醇流量为 6 mL/min 为最优值 ,综合节油率接近零 ,该功率条件下 2 000 r/min 是一个相对较差的工况 ,而 1 500 r/min 工况运行良好 ;当功率为 $P = 4$ kW 时 ,乙醇流量为 4 mL/min 最优 ,综合节油率为 2.3% ;当功率为 P

$= 5 \sim 9$ kW 时 ,乙醇流量为 8 mL/min 最优 ,综合节油率分别为 5.7% 2.1% 0.9% 4.4% 3.1% ;当 $P = 10$ kW 时 ,乙醇流量为 10 mL/min 最优 ,综合节油率为 4.2%。为了确定 $P = 10$ kW 时综合节油率最高的乙醇流量 ,进行了该功率乙醇流量为 12 mL/min 的实验 ,该工况下综合节油率为 4.0%。就此得出了各功率条件下为了节能而需要的乙醇流量最优值。

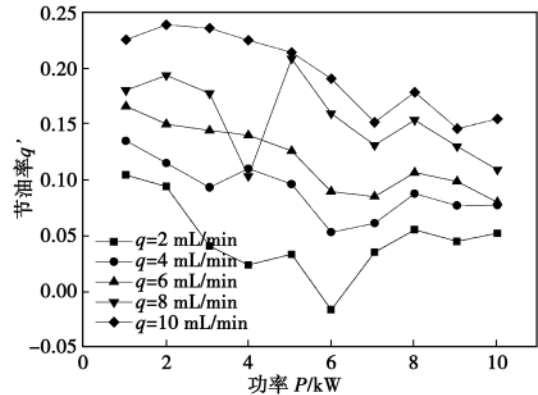


图 5 不同功率下的节油率

Fig. 5 Chart showing the oil saving rate at various powers

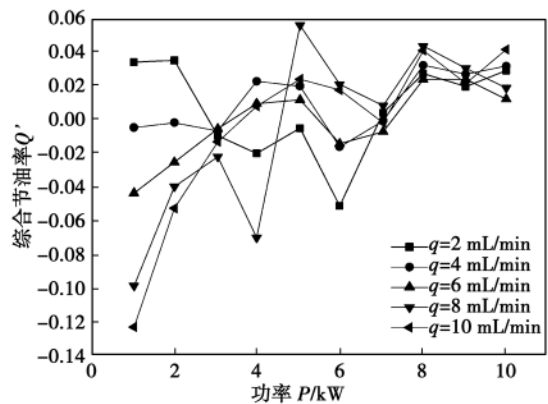


图 6 不同功率下的综合节油率

Fig. 6 Chart showing the comprehensive oil saving rate at various powers

2.3 节油原理实验及简析

为了得到系统的节油原理 ,对柴油机不同功率时乙醇热解后的混合气进行了测量 ,测量装置如图 7 所示。乙醇热解产生的混合气体经过水洗 ,然后进入气相色谱仪进行分析。产生的氢气比例如图 8 所示。随着功率增大 ,柴油机排烟温度的上升 ,氢气的比例随着上升 ,柴油机功率为 4 kW 时 ,排烟温度为 318 °C ,各乙醇流量下 ,产生的氢气不足全部气体

的 5%。当柴油机功率到 10 kW 时,排烟温度超过 500 °C,氢气产生占全部气体的 40% 以上,当乙醇流量为 6 mL/min 时最大,达到 54.7%。乙醇流量为 6 mL/min 时氢气所占比例最高。当柴油机功率为 10 kW 时,可检测到 6% 左右的乙烯,3% 的一氧化碳以及 2% 左右的甲烷。柴油机低功率运行时,这些物质含量小于 1%,很难监测。

在众多可燃性气体中氢气的扩散系数最大,因此如果在着火初期有氢气存在,氢气能快速地通过扩散将着火燃烧产生的高温空间热量输送到柴油油滴的表面,同时,这些存在在油滴表面附近的氢气燃烧释放的热量会加热油滴。油滴的蒸发加快,油滴尺寸会迅速减小,燃烧更加充分,从而强化了燃烧,提高了节油率。

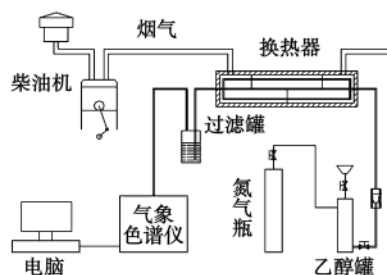


图 7 气体检测装置

Fig. 7 Schematic diagram of a gas testing device

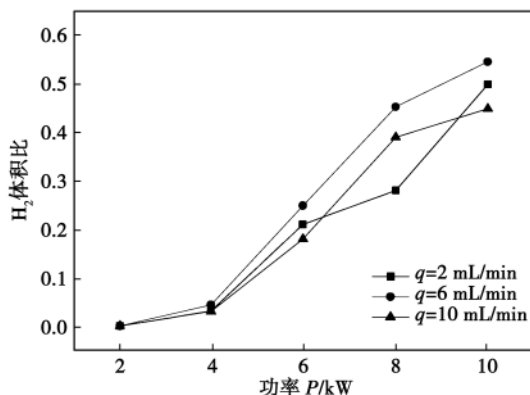


图 8 不同功率下产生氢气的比例

Fig. 8 Chart showing the proportion of hydrogen production at various powers

由于综合油耗要按照燃料的热值进行折算,所以在相同质量条件下,热值低的燃料折算后的油耗会较小,而热值高的燃料折算后的油耗会较大。所以氢气热值虽然最高,能够有效降低油耗,但却难以提高综合节油率,也就是节能率^[6]。试验中乙醇热解实际上是利用柴油机烟气中蕴含的能量把低能量密度的燃料部分热解,转化成了高能量密度的氢气

或其它小分子气体燃料,也就是把排烟中燃烧剩余的热能转化成了热解混合气中的化学能,实现了部分能量的循环再利用,提高了能量利用率。

综上所述,低功率时,乙醇蒸气更多地参与了燃烧室的燃烧,即乙醇蒸气和柴油的掺混燃烧占主导地位,实现了节油;高功率时,由于乙醇蒸气进一步热解,得到氢气等小分子气体,进而改善燃烧,也降低了油耗。

3 结 论

对改造过的柴油机整机系统进行了定功率-不同转速和额定转速-不同功率条件下乙醇吸热掺混燃烧的对比实验和分析,得出结论:

(1) 该改造系统在不增加外部供能的条件下可使乙醇吸热后产生的混合气体进入柴油机燃烧室掺混燃烧,实现节油和节能。

(2) 通过不同转速、不同功率的试验,得出了各功率时最优节油和节能的乙醇流量。在柴油机功率为 3 kW、转速为 1 500 r/min 时节油率最高可达 40%,节能率最高可达 13.5%;在柴油机额定转速 2 000 r/min 时节油率最高可达 24%,节能率最高可达 5.7%。

(3) 对节油原理进行了分析,得出了低功率下主要依靠乙醇蒸气,高功率下主要依靠小分子气体的节油原理。

参考文献:

- [1] 金福祥,张武高,周校平等.乙醇燃料的研究发展与应用[J].柴油机,2002(5):44-46.
JIN Fu-xiang, ZHANG Wu-gao, ZHOU Xiao-ping, et al. Development and application of ethanol fuel [J]. Diesel, 2002(5): 44-46.
- [2] He B Q, Shuai S J, Wang J X, et al. The effect of ethanol blended diesel fuels on emissions from a diesel engine [J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(35): 4965-4971.
- [3] Ajav E A, Singh B, Bhattacharya T K. Experimental study of some performance parameters of a constant speed stationary diesel engine using ethanol-diesel blends as fuel [J]. Biomass and Bioenergy, 1999, 17(4): 357-365.
- [4] Ajav E A, Singh B, Bhattacharya T K. Performance of a stationary diesel engine using vapourized ethanol as supplementary fuel [J]. Biomass and Bioenergy, 1998, 15(6): 493-502.
- [5] Noguchi N, Terao H, Sakata C. Performance improvement by control of flow rates and diesel injection timing on dual-fuel engine with ethanol [J]. Bioresource Technology, 1996, 56(1): 35.
- [6] 张波,傅维铤.燃料热解制氢在柴油机上的节油研究.内燃机工程[J].2006, 27(4): 77-80.
ZHANG Bo, FU Wei-biao. Study of the oil saving in a diesel through hydrogen production by pyrolyzing fuel [J]. Internal Combustion Engine, 2006, 27(4): 77-80.

(丛敏编辑)

315211) ,FU Lei (Qingdao Maritime Bureau ,Qingdao ,China ,Post Code: 266011) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012 27(2) . - 237 ~ 241

To realize applications of emulsified fuel oil on ships ,a set of heavy oil on-line emulsification device was developed and a real-ship test was performed on Ningda No. 6 transportation vessel powered by a Model G6300ZC18B diesel engine. The test results show that when the water dilution ratio ranges from 16% to 24% ,the fuel oil can attain a good emulsification quality and serve as a kind of fuel oil on ships. When burning the emulsified fuel oil ,the diesel engine will have an explosive pressure fluctuating within a range from 1 to 2 MPa ,the exhaust gas temperature will drop averagely by 12 °C and the cooling water outlet temperature will decline slightly. The above-mentioned parameters are changed in their normal variation range. Moreover ,the average oil saving rate reaches 9.7% and NO_x ,CO and carbon-flue-gas emissions decrease by 19.6% ,20% and 35% respectively. **Key words:** marine diesel ,emulsified heavy oil ,water dilution ratio ,combustion ,emissions reduction

乙醇掺混燃烧对柴油机油耗影响的实验研究 = **Experimental Study of the Influence of Ethanol Mixed and Diluted Combustion on the Oil Consumption of a Diesel** [刊 ,汉]DANG Shuai ,ZHONG Bei-jing ,GONG Jing-song ,YUAN Zhen (College of Aeronautics and Astronautics ,Tsinghua University ,Beijing ,China ,Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012 27(2) . - 242 ~ 245

After a heat absorption ,ethanol can be pyrolyzed partially and produce a mixture of several gases. To study the oil saving effectiveness of gas mixing and dilution combustion in a diesel engine ,the diesel system was modified: let ethanol to absorb the waste heat of the exhaust gas by passing through a miniature and efficient heat exchanger mounted on the exhaust gas pipe of the diesel engine and after a pyrolysis in a part ,the gas mixture thus produced is fed into the combustor of the diesel engine via an inlet pipe to improve the combustion. On the system under discussion ,an oil-saving experimental study was conducted at constant power-various rotating speeds and rated speed-various powers. The research results show that the system in question can have a relatively good oil-saving and energy-saving effectiveness at both high and low powers. When operating at 1500 r/min. the diesel engine can achieve a possible highest oil-saving rate and energy-saving rate of 40% and 13.5% respectively. When operating at 2000 r/min ,the diesel can attain a possible highest oil-saving rate and energy-saving rate of 24% and 5.7% respectively. The measurement data of the gas mixture pyrolyzed from ethanol induce one to conclude that the oil-saving principle of the system mainly depends on ethanol steam at a low power while mainly on gases with small molecules at a high power. **Key words:** internal combustion engine ,ethanol ,pyrolysis ,oil saving

高负荷氦气压气机平面叶栅数值试验及叶型优化 = **Numerical Experiment and Blade Profile Optimization**