

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.11.005

乙醇-生物柴油-柴油混合燃料对柴油机性能和排放的影响*

雷基林 申立中 毕玉华 谭泽飞 陈泓 刘少华

(昆明理工大学云南省内燃机重点实验室, 昆明 650224)

【摘要】 基于乙醇、生物柴油和石化柴油物化性质的互补性,配制了乙醇-生物柴油-柴油混合的多组分燃料(简称BED燃料),在0℃、10℃、15℃、20℃环境下研究了BED燃料相溶性和稳定性,试验研究了6组不同比例BED燃料对柴油机性能和排放的影响。结果表明:在不对柴油机做任何改动的情况下,燃用BED燃料后在中间转速大负荷工况下动力下降较大,下降幅度随乙醇和生物柴油组分的增加而升高,最大降幅达到10.2%;当量燃油消耗率低于纯柴油,在低负荷时,不同比例BED燃料的当量燃油消耗率不呈现明显的变化规律,在高负荷时,当量燃油消耗率随BED燃料含氧量增加而降低,最大下降9.2%;CO排放量在高负荷时明显下降,最大下降70.1%;NO_x排放量随BED燃料中生物柴油比例的增加而上升,随乙醇比例的增加而降低,标定工况下最大上升29%;THC排放量随生物柴油比例的增加而下降,随乙醇比例的增加而上升,其中标定工况下最大下降32.6%。

关键词: 柴油机 乙醇 柴油 生物柴油 排放特性 性能试验

中图分类号: TK427; TQ517.4⁺6 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)11-0021-05

Impact of Combustion of BED Blend Fuel on Diesel Engine Performance and Emissions

Lei Jilin Shen Lizhong Bi Yuhua Tan Zefei Chen Hong Liu Shaohua

(Yunnan Province Key Laboratory of Engines, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China)

Abstract

According to the physicochemical property complementarity of bio-ethanol, biodiesel and petroleum diesel, a multi-component fuel (BED fuel for short) with bio-ethanol, biodiesel and petroleum diesel was mixed. The compatibility and stability of the BED fuel were studied under four temperature (0℃、10℃、15℃、20℃) environments. The relation between the engine performance and emissions and the six groups of BED fuel in different proportions were studied with the experiments. The results indicated that, the engine power with BED fuel greatly reduced at high loads in intermediate speed and the reducing amplitude raised with the increasing proportion of ethanol and bio-diesel components, the drop ratio was up to 10.2% compared with diesel. The equivalent brake specific fuel consumption (EBSFC for short) was lower than that of pure diesel. The change of EBSFC with BED fuel in different proportions did not show regularity at low loads, while the EBSFC reduced with the increasing oxygen content in BED fuel, the drop ratio was up to 9.2% compared with diesel. The CO emissions decreased significantly at high-loads and the biggest ratio was up to 70.1%. The NO_x emissions rose with the increasing of bio-diesel component and reduced with the increasing ethanol component, the biggest raised ratio was up to 29% at rated working conditions. The THC emissions reduced with the increasing bio-diesel component and rose with the increasing ethanol component, the biggest decreasing ratio was up to 32.6% at rated working conditions.

Key words Diesel engine, Bio-ethanol, Petrochemical diesel, Biodiesel, Emission characteristics, Performance test

收稿日期: 2011-11-04 修回日期: 2012-01-03

* 国家自然科学基金资助项目(51166006)

作者简介: 雷基林, 副教授, 博士, 主要从事内燃机设计与结构优化研究, E-mail: lejilin@sina.com

通讯作者: 申立中, 教授, 博士生导师, 主要从事内燃机结构设计与工作过程研究, E-mail: lzshen@foxmail.com

引言

生物乙醇和生物柴油作为可再生的清洁含氧生物燃料,已成为具有发展前景的汽车代用燃料之一。生物乙醇含氧 34.8%,碳含量低,用于柴油机燃烧时所需的理论空气量少,混合气着火极限体积范围宽;其沸点较柴油低,有利于混合气形成和燃烧;其汽化潜热约为柴油的 3 倍,汽化时吸热量大,有利于降低柴油机缸内高温。但由于生物乙醇自燃性差、十六烷值和粘度低,其理化性质和柴油相比差异较大,乙醇和柴油的互溶性差,混合物性质不稳定,掺入少量的水就可能引起分层^[1~4]。

与石化柴油相比,生物柴油含氧 11% 左右,不含硫、芳香烃等物质,在柴油机中燃烧后可有效降低 CO、SO₂ 以及微粒的排放量。生物柴油的十六烷值高,一般都在 50 以上,超过了国际规定的十六烷值 45 的最低要求。而且,生物柴油还是乙醇和柴油混合的助溶剂。由此看来,生物乙醇、生物柴油和柴油有互补性,三者混合配置的多组分燃料(以下简称 BED 燃料)具备了降低柴油机排放的潜能^[5~8]。

为此,系统研究不同比例的生物柴油、生物乙醇和柴油混配的 BED 燃料的互溶性和稳定性。并试验研究不同混配比例的 BED 燃料对柴油机性能和排放的影响。

1 试验装置

试验研究主要装置为:QTH-2P-B 型程式恒温恒湿试验箱,超声波乳化器,密度计,平行光源,天平,各种玻璃仪器等。

试验用机型为两缸、卧式,水冷,四冲程自然吸气柴油机,其主要参数见表 1 所示。试验台架采用 WE31 型水涡流测功机,50-200 型容积式油耗测量装置,AVL415 滤纸式烟度仪,AVL CEB II 直采式废气分析仪。试验地点海拔高度为 1 920 m,大气压力 81.5 kPa,环境气温 20~25℃ 之间,相对湿度为 20%~35%。在进行 BED 燃料与纯柴油的对比试验中,未对柴油机做任何调整,整个试验过程中,柴油机运行正常;考虑到本次试验为对比试验,对所测功率和有效燃油消耗率不做修正。

2 BED 混合燃料的配制

采用 0 号柴油、无水乙醇(质量分数 99.5%)和生物柴油以不同的比例混配成 BED 燃料,在恒温箱设定的不同环境温度条件下静置 60 d,考核其物理稳定性情况。在此主要考核了 0、10、15、20℃ 共 4 种温度环境下混合燃料的稳定性。试验结果发现,

当环境温度在 10℃ 以上时,BED 混合燃料中的生物柴油组分比例大于 20% 时,乙醇与柴油能够以任意比例互溶,稳定时间大于 60 d;当温度低于 10℃,随着温度的下降,BED 混合燃料稳定性变差。在 0℃ 环境温度下,要使 BED 混合燃料互溶,其中的生物柴油组分比例须在 25%~55% 之间,乙醇与柴油才能够以任意比例互溶。分析认为,生物柴油组分中的分子结构具有长的空间碳链结构,含有烯键和酯基官能团,对乙醇和柴油具有“桥梁性”的助溶作用,是乙醇柴油混合燃料的天然助溶剂,能够使生物柴油-乙醇-柴油三相混合燃料以一定比例组分在一定温度范围内保持良好的物理稳定特性。

表 1 试验用机型的主要参数

Tab.1 Main parameters in diesel engine experiment	
参数	数值
发动机排量/L	2.5
缸径×行程/mm×mm	115×120
每缸气门数	2
压缩比	17.5
连杆长度/mm	185
标定功率(转速)/kW(r/min)	37(2 400)
最大转矩(转速)/N·m(r/min)	167(1 600)
进气方式	自然吸气
冷却方式	强制水冷
燃油泵型式	BQ 泵

为了研究 BED 混合燃料对柴油发动机性能和排放的影响,配制了 B10E5D85(表示混合燃料中含有体积分数为 10% 的生物柴油、5% 的生物乙醇和 85% 的石化柴油)、B20E5D75、B30E5D65、B10E10D80、B20E10D70 和 B30E10D60 6 组混合燃料,对比试验研究了燃用石化柴油(简称 D100)和 6 组混合燃料后柴油机的性能和排放特性。

3 试验结果与分析

3.1 BED 燃料对柴油机动力性和经济性的影响

图 1 是纯柴油和 BED 燃料的外特性对比图。由图 1 可见,在不对柴油机做任何调整的情况下,BED 燃料的动力性低于纯柴油,尤其是在外特性中间转速大负荷工况,并随着乙醇、生物柴油比例的增加,BED 燃料发动机的动力不断下降。分析认为,BED 燃料热值比纯柴油低是发动机动力性下降的主要原因。图 2 是柴油机不同转速下外特性点转矩随不同燃料热值的关系。由图 2 可以看出,B10E5D85、B20E5D75、B30E5D65、B10E10D80、

B20E10D70 和 B30E10D60 相对纯柴油的动力性下降比例在最大转矩工况分别为 3.9%、5.5%、7.1%、7.1%、8.7% 和 10.2%，下降幅度较大。在 1 000 r/min 外特性点分别下降 0.9%、2.7%、2.7%、

4.5%、4.5% 和 6.3%；在标定功率工况分别下降 1.9%、2.8%、3.7%、3.7%、4.6% 和 5.6%。试验发现，可以通过调整柴油机供油系统上的燃油泵放油螺栓，恢复 BED 燃料发动机的动力性。

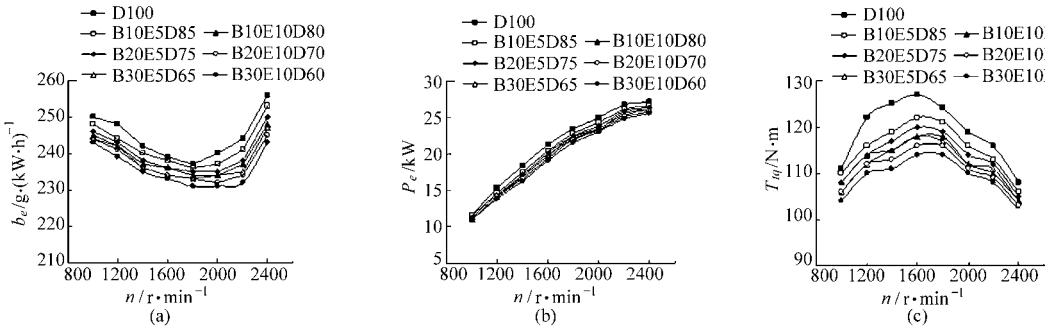


图 1 纯柴油和 BED 混合燃料外特性对比
Fig. 1 Comparison of full load characteristics of diesel engine fueled with BED fuel and petroleum diesel
(a) 有效燃油消耗率 (b) 有效功率 (c) 转矩

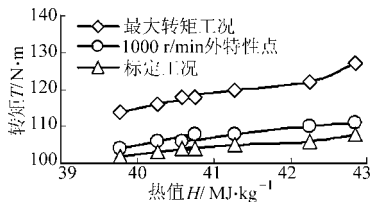


图 2 柴油机转矩与燃料热值的关系
Fig. 2 Relationship between engine torque and low calorific value of different fuels

由于 BED 混合燃料的低热值低于柴油，不能用有效燃油消耗率 BSFC 来评价 BED 混合燃料发动机的经济性。因此引入了当量燃油消耗率 b_e 来评价 BED 混合燃料发动机的经济性。当量燃油消耗率为

$$b_e = \left(\frac{B_{SFC}}{\rho_{BED}} V_E H_{VE} + \frac{B_{SFC}}{\rho_{BED}} V_B H_{VB} + \frac{B_{SFC}}{\rho_{BED}} V_D H_{VD} \right) / H_{MD}$$

式中 ρ_{BED} ——BED 混合燃料 20℃ 的密度，g/cm³
 V_E 、 V_B 、 V_D ——乙醇、生物柴油、柴油体积分数，%
 H_{VE} 、 H_{VB} 、 H_{VD} ——乙醇、生物柴油、柴油体积热值，MJ/cm³
 H_{MD} ——柴油质量热值，MJ/g

图 3 是柴油机当量燃油消耗率随燃料中氧质量分数的变化关系。图 4 是柴油机燃用 BED 燃料与纯柴油的经济性对比图。从图 3、4 中可以看出，不同比例组分 BED 燃料的当量燃油消耗率低于纯柴油。其中 B10E5D85、B20E5D75、B30E5D65、B10E10D80、B20E10D70 和 B30E10D60 相对纯柴油的当量燃油消耗率下降比例在最大转矩工况分别为 3.9%、5.6%、6.3%、6.5%、8.6% 和 9.2%；在

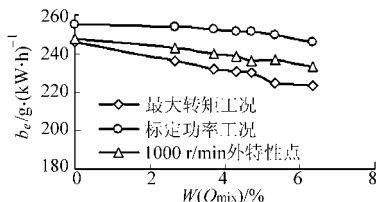


图 3 当量燃油消耗率随燃料氧质量分数的变化曲线
Fig. 3 Relationship between engine equivalent BSFC and oxygen content of different fuels

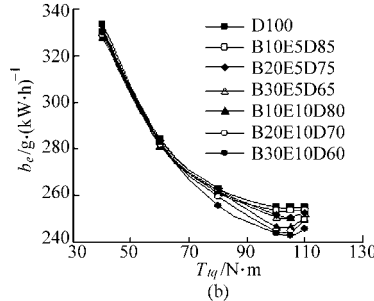
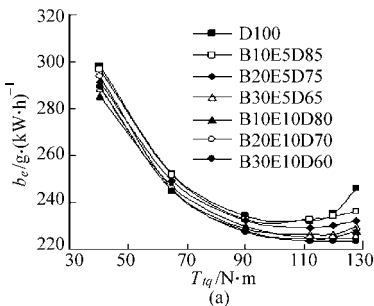


图 4 柴油机燃用 BED 混合燃料与纯柴油的经济性对比结果
Fig. 4 Comparison of performance of diesel engine fueled with BED fuel and petroleum diesel
(a) $n = 1\,600\text{ r/min}$ (b) $n = 2\,400\text{ r/min}$

1 000 r/min 外特性工况点分别为 2.0%、3.3%、3.8%、4.7%、4.5% 和 6.0%；在标定功率工况点分别为 0.5%、0.8%、1.4%、1.4%、2.1% 和 3.6%。

分析认为,乙醇含氧 34.8%,生物柴油含氧约 10%,BED 燃料在燃烧过程中具有自供氧能力,改善了燃烧过程,使燃烧更为完善。同时,生物柴油具有高的十六烷值,弥补了乙醇柴油的较低十六烷值特性,改善了着火过程,提高了发动机热效率。从图中还可以看出,柴油机低负荷运行时,不同比例组分 BED 燃料的当量燃油消耗率下降幅度较小,不呈现明显规律;柴油机高负荷运行时,不同比例组分 BED 燃料的当量燃油消耗率下降幅度较大,并随混合燃料中含氧量的增加而降低。分析认为,低负荷运行时,一方面乙醇汽化潜热大,使气缸内工质温度和压力

下降,影响了燃烧过程;另一方面生物柴油粘度大,低速时会影响混合燃料的雾化。高负荷运行时,气缸内工质温度和压力较高,避免了乙醇大的气化潜热,同时 BED 燃料含氧助燃功能使燃烧过程更加完善。

3.2 BED 燃料对柴油机排放性能的影响

分别在 1 600 r/min 和 2 400 r/min 转速下研究了燃用纯柴油和 BED 混合燃料对柴油机 NO_x、CO、HC 等常规气体排放物的影响。表 2 是柴油机燃用 BED 燃料与纯柴油后 CO、NO_x 和 THC(总碳氢化合物)排放物对比。

表 2 柴油机燃用 BED 混合燃料与纯柴油的 CO、NO_x、THC 排放量对比结果

Tab.2 Comparison of CO, NO_x, THC emissions of diesel engine fueled with BED fuel and petroleum diesel

转速/ r·min ⁻¹	排放物	转矩/N·m	燃料						
			D100	B10E5D85	B20E5D75	B30E5D65	B10E10D80	B20E10D70	B30E10D60
1 600	CO	12.8	3.48×10 ⁻⁶	3.20×10 ⁻⁶	3.08×10 ⁻⁶	3.30×10 ⁻⁶	3.47×10 ⁻⁶	3.00×10 ⁻⁶	3.20×10 ⁻⁶
		64	6.24×10 ⁻⁶	6.00×10 ⁻⁶	5.40×10 ⁻⁶	5.20×10 ⁻⁶	5.10×10 ⁻⁶	5.30×10 ⁻⁶	5.00×10 ⁻⁶
		96	6.01×10 ⁻⁶	4.90×10 ⁻⁶	3.60×10 ⁻⁶	3.40×10 ⁻⁶	3.20×10 ⁻⁶	3.00×10 ⁻⁶	2.80×10 ⁻⁶
		128	1.801×10 ⁻⁵	1.605×10 ⁻⁵	1.390×10 ⁻⁵	1.210×10 ⁻⁵	9.30×10 ⁻⁶	7.50×10 ⁻⁶	5.90×10 ⁻⁶
	NO _x	12.8	1.44×10 ⁻⁶	1.20×10 ⁻⁶	1.30×10 ⁻⁶	1.40×10 ⁻⁶	9.0×10 ⁻⁷	1.18×10 ⁻⁶	1.36×10 ⁻⁶
		64	5.40×10 ⁻⁶	4.75×10 ⁻⁶	5.15×10 ⁻⁶	5.70×10 ⁻⁶	4.08×10 ⁻⁶	4.86×10 ⁻⁶	5.52×10 ⁻⁶
		96	9.00×10 ⁻⁶	1.010×10 ⁻⁵	1.090×10 ⁻⁵	1.213×10 ⁻⁵	9.34×10 ⁻⁶	1.050×10 ⁻⁵	1.183×10 ⁻⁵
		128	1.067×10 ⁻⁵	1.218×10 ⁻⁵	1.304×10 ⁻⁵	1.460×10 ⁻⁵	1.165×10 ⁻⁵	1.275×10 ⁻⁵	1.356×10 ⁻⁵
	THC	12.8	3.33×10 ⁻⁶	3.21×10 ⁻⁶	2.92×10 ⁻⁶	2.73×10 ⁻⁶	3.34×10 ⁻⁶	3.04×10 ⁻⁶	2.87×10 ⁻⁶
		64	3.16×10 ⁻⁶	3.04×10 ⁻⁶	2.75×10 ⁻⁶	2.45×10 ⁻⁶	3.15×10 ⁻⁶	2.86×10 ⁻⁶	2.58×10 ⁻⁶
		96	2.91×10 ⁻⁶	2.67×10 ⁻⁶	2.27×10 ⁻⁶	2.00×10 ⁻⁶	2.77×10 ⁻⁶	2.43×10 ⁻⁶	2.20×10 ⁻⁶
		128	2.84×10 ⁻⁶	2.51×10 ⁻⁶	2.22×10 ⁻⁶	1.94×10 ⁻⁶	2.53×10 ⁻⁶	2.24×10 ⁻⁶	1.95×10 ⁻⁶
2 400	CO	11	2.61×10 ⁻⁶	2.40×10 ⁻⁶	2.30×10 ⁻⁶	2.13×10 ⁻⁶	2.61×10 ⁻⁶	2.24×10 ⁻⁶	2.05×10 ⁻⁶
		55	4.68×10 ⁻⁶	4.50×10 ⁻⁶	4.05×10 ⁻⁶	3.90×10 ⁻⁶	3.80×10 ⁻⁶	3.95×10 ⁻⁶	3.85×10 ⁻⁶
		82.5	4.50×10 ⁻⁶	3.70×10 ⁻⁶	3.48×10 ⁻⁶	3.30×10 ⁻⁶	2.50×10 ⁻⁶	2.35×10 ⁻⁶	2.15×10 ⁻⁶
		110	1.350×10 ⁻⁵	1.210×10 ⁻⁵	1.060×10 ⁻⁵	8.60×10 ⁻⁶	6.48×10 ⁻⁶	5.18×10 ⁻⁶	4.03×10 ⁻⁶
	NO _x	11	1.94×10 ⁻⁶	1.63×10 ⁻⁶	1.76×10 ⁻⁶	1.89×10 ⁻⁶	1.23×10 ⁻⁶	1.60×10 ⁻⁶	1.83×10 ⁻⁶
		55	7.02×10 ⁻⁶	6.17×10 ⁻⁶	6.67×10 ⁻⁶	7.00×10 ⁻⁶	5.30×10 ⁻⁶	6.29×10 ⁻⁶	6.77×10 ⁻⁶
		82.5	1.170×10 ⁻⁵	1.310×10 ⁻⁵	1.420×10 ⁻⁵	1.570×10 ⁻⁵	1.222×10 ⁻⁵	1.370×10 ⁻⁵	1.530×10 ⁻⁵
		110	1.287×10 ⁻⁵	1.460×10 ⁻⁵	1.540×10 ⁻⁵	1.720×10 ⁻⁵	1.390×10 ⁻⁵	1.505×10 ⁻⁵	1.660×10 ⁻⁵
	THC	11	3.18×10 ⁻⁶	3.07×10 ⁻⁶	2.79×10 ⁻⁶	2.63×10 ⁻⁶	3.20×10 ⁻⁶	2.91×10 ⁻⁶	3.77×10 ⁻⁶
		55	3.10×10 ⁻⁶	2.99×10 ⁻⁶	2.71×10 ⁻⁶	2.40×10 ⁻⁶	3.10×10 ⁻⁶	2.82×10 ⁻⁶	2.53×10 ⁻⁶
		82.5	2.84×10 ⁻⁶	2.60×10 ⁻⁶	2.21×10 ⁻⁶	1.94×10 ⁻⁶	2.71×10 ⁻⁶	2.37×10 ⁻⁶	2.14×10 ⁻⁶
		110	2.73×10 ⁻⁶	2.40×10 ⁻⁶	2.11×10 ⁻⁶	1.83×10 ⁻⁶	2.42×10 ⁻⁶	2.13×10 ⁻⁶	1.84×10 ⁻⁶

燃用 BED 燃料后 CO 排放量低负荷时趋于纯柴油水平,高负荷时下降,并且高负荷时 CO 排放量随燃料中含氧量的增加急剧下降。其中 B10E5D85、B20E5D75、B30E5D65、B10E10D80、B20E10D70 和 B30E10D60 相对纯柴油在最大转矩

工况(1 600 r/min,128 N·m)分别下降 10.9%、22.8%、32.8%、48.4%、58.4% 和 67.2%;在标定功率工况(2 400 r/min,110 N·m)分别下降 10.4%、21.5%、36.3%、52%、61.6% 和 70.1%。分析认为,发动机低负荷运行时,一方面乙醇的高汽化潜热

值导致缸内工质温度下降,阻碍了 CO 的氧化反应;另一方面生物柴油含氧且具有较高的十六烷值,有助于 CO 的氧化。这些因素的共同作用使低负荷时 CO 的排放量呈现复杂的变化规律,但总体趋于纯柴油排放水平。发动机高负荷运行时,由于缸内温度与燃烧室壁面温度升高、生物柴油高十六烷值改善燃烧,以及乙醇和生物柴油含氧的助燃作用,CO 的氧化条件得到改善,CO 排放量较纯柴油降低。

NO_x排放量随 BED 燃料中生物柴油比例的增加而上升,随乙醇比例的增加而下降,低负荷时略低于纯柴油水平,高负荷时高于纯柴油水平。其中 B10E5D85、B20E5D75、B30E5D65、B10E10D80、B20E10D70 和 B30E10D60 相对纯柴油在最大转矩工况分别上升 14.2%、22.2%、36.8%、9.2%、19.5% 和 27.1%;在标定功率工况分别上升 13.4%、19.7%、33.6%、8%、16.9% 和 29%。分析认为 NO_x生成的条件是高温、富氧和高温持续时间,生物柴油中含有碳碳双键,在燃烧过程中产生大量的 HC 自由基,它是 NO_x排放物生成反应的良好催化剂^[9],因此随着 BED 燃料中生物柴油组分比例的增加,NO_x的排放量上升;乙醇具有高汽化潜热值,导致缸内温度下降,因此随着 BED 燃料中乙醇组分比例的增加,NO_x的排放量下降。发动机低负荷运行时,缸内燃烧温度较低,BED 燃料中乙醇组分的高汽化潜热值进一步降低了缸内温度,使得 BED 燃料的 NO_x排放量略低于纯柴油水平。发动机高负荷运行时,缸内温度较高,BED 燃料含氧的理化特性使缸内氧化氛围较强,NO_x的排放量较纯柴油升高。

THC 排放量随 BED 燃料中生物柴油比例的增加而下降,随乙醇比例的增加而上升,并且低负荷时趋于燃用纯柴油水平,高负荷时低于燃用纯柴油水平。其中 B10E5D85、B20E5D75、B30E5D65、B10E10D80、B20E10D70 和 B30E10D60 相对纯柴油的下降比例在最大转矩工况分别为 11.6%、21.8%、31.7%、10.9%、21.1% 和 31.3%;在标定功率工况分别为 12.1%、22.7%、33.0%、11.4%、22.0% 和 32.6%。分析认为,生物柴油十六烷值较高,着火始点提前,将导致 HC 在整个燃烧过程中的氧化时间延长,因此随着 BED 燃料中生物柴油比例的增加,HC 的排放量下降;乙醇具有高汽化潜热

值,导致缸内温度下降,HC 氧化反应受阻,因此随着 BED 燃料中乙醇比例组分的增加,HC 的排放量上升。发动机低负荷运行时,BED 燃料中生物柴油组分和乙醇组分不同理化特性的共同作用,使 HC 的排放量整体趋于纯柴油水平;发动机高负荷运行时,缸内温度与燃烧室壁面温度提高,混合燃料的可燃混合气形成速度加快,参与燃烧的混合燃料量增加,使可燃混合气被及时加热至着火温度的条件得以改善,加上生物柴油高十六烷值、乙醇和生物柴油含氧改善燃烧的作用,使 BED 燃料的 HC 排放量低于纯柴油水平。

综合上述分析可以知道,乙醇高汽化潜热值、生物柴油高十六烷值和含碳碳双键以及两者均含氧的理化特性是柴油机燃用 BED 混合燃料后气体排放物变化的主要原因。

4 结论

(1)由于生物柴油对乙醇和柴油具有“桥梁性”的助溶作用,能够使生物柴油-乙醇-柴油三相混合燃料(即 BED 燃料)以一定比例在一定温度范围内保持良好的物理稳定特性。

(2)由于 BED 混合燃料的低热值比石化柴油低,因此 BED 燃料的动力性较石化柴油下降;尤其在中等转速大负荷工况下降幅度较大。在最大转矩工况下降幅度最大的 B30E10D60 燃料动力性下降 10.2%。

(3)不同 BED 燃料的当量燃油消耗率低于石化柴油。低负荷工况,不同 BED 燃料的当量燃油消耗率下降幅度较小,不呈现明显规律;高负荷运行时,BED 燃料的当量燃油消耗率下降幅度较大,并随着混合燃料中含氧量的增加而降低。

(4)乙醇汽化潜热值高、生物柴油十六烷值高和含碳碳双键的理化特性是柴油机燃烧 BED 燃料后气体排放物变化的主要原因。相对于纯柴油,燃烧 BED 燃料后,CO 排放量高负荷时明显下降,下降比例随燃料中含氧量的增加而增加;NO_x排放量随 BED 燃料中生物柴油的增加而上升,随乙醇的增加而下降,高负荷时高于纯柴油的排放水平;THC 排放量随 BED 燃料中生物柴油的增加而下降,随 BED 燃料中乙醇的增加而上升,高负荷时下降幅度较大。

参 考 文 献

- 申立中,颜文胜,毕玉华,等. 乙醇/柴油不同掺醇途径的性能对比[J]. 燃烧科学与技术,2007,13(5):389~392.
Shen Lizhong, Yan Wensheng, Bi Yuhua, et al. Performance comparison of ethanol/diesel blends mixed in different methods of diesel engine [J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2007, 13(5): 389~392. (in Chinese)

- Lin Xuedong, Qian Yaoyi, Li Hongzhou, et al. Investigation on parameter optimization of a reentrant combustion system for diesel engine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(1): 41 ~ 43. (in Chinese)
- 5 赵鹏,李国岫,虞育松. 直喷式柴油机燃烧系统均匀优化设计的多维仿真研究[J]. 工程热物理学报,2010,31(4): 689 ~ 692.
- Zhao Peng, Li Guoxiu, Yu Yusong. Multi-dimensional simulation of combustion system for a DI diesel by using uniform optimization design method[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2010, 31(4): 689 ~ 692. (in Chinese)
- 6 王平,唐斌,宋希庚,等. 共轨柴油机燃烧系统的匹配研究[J]. 热科学与技术,2008,7(3):252 ~ 255.
- Wang Ping, Tang Bin, Song Xigeng, et al. Matching analysis of diesel engine combustion system with common rail system [J]. Journal of Thermal Science and Technology, 2008, 7(3): 252 ~ 255. (in Chinese)
- 7 David D Wickman. HSDI diesel engine combustion chamber geometry optimization[D]. Wisconsin:University of Wisconsin-Madison, 2003.
- 8 虞育松,李国岫,刘建英. 直喷柴油机喷油系统对燃烧和排放影响的三维模拟研究[J]. 热科学与技术,2006,5(1):64 ~ 68.
- Yu Yusong, Li Guoxiu, Liu Jianying. Three dimensional modeling of effect of injection systems on combustion and emission for DI diesel engine[J]. Journal of Thermal Science and Technology, 2006, 5(1): 64 ~ 68. (in Chinese)
- 9 赵长禄,周磊,岳玉嵩,等. 通过进气道优化改进柴油机的性能[J]. 内燃机学报,2003,21(4):244 ~ 248.
- Zhao Changlu, Zhou Lei, Yue Yusong, et al. Improvement of diesel engine by intake system optimization[J]. Transactions of CSICE, 2003, 21(4): 244 ~ 248. (in Chinese)
- 10 刘丽华. 2135 柴油机燃烧优化[D]. 大连:大连理工大学,2007.
- Liu Lihua. The optimization of the combustion in 2135[D]. Dalian:Dalian University of Technology, 2007. (in Chinese)
- 11 田春霞,王书庆,李来群. CA6DF2L-31 型柴油机性能优化的匹配试验研究[J]. 柴油机,2009,31(1):13 ~ 16.
- Tian Chunxia, Wang Shuqing, Li Laiqun. The matching experimental study for optimized performance of CA6DF2L-31 diesel engine[J]. Diesel Engine, 2009, 31(1): 13 ~ 16. (in Chinese)

(上接第 25 页)

- 2 颜文胜,申立中,雷基林,等. 不同大气压力和乙醇/柴油混合掺比对柴油机性能和排放的影响[J]. 内燃机学报, 2007,25(6):539 ~ 544.
- Yan Wensheng, Shen Lizhong, Lei Jilin, et al. Effects on performance and emissions of a turbocharged diesel engine under different atmospheric pressures and diesel/ethanol fraction[J]. Transactions of CSICE, 2007, 25(6): 539 ~ 544. (in Chinese)
- 3 de Menezes E W, da Silva R, Cataluña R, et al. Effect of ethers and ether/ethanol additives on the physicochemical properties of diesel fuel and on engine tests [J]. Fuel, 2006, 85(5): 815 ~ 822.
- 4 Rakopoulos C D, Antonopoulos K A, Rakopoulos D C, et al. Multi-zone modeling of combustion and emissions formation in DI diesel engine operating on ethanol-diesel fuel blends[J]. Energy Conversion and Management, 2008, 49(4): 625 ~ 643.
- 5 何超,葛蕴珊,韩秀坤,等. 直喷式柴油机燃用生物柴油的燃烧特性[J]. 内燃机工程, 2007,28(6):7 ~ 10.
- He Chao, Ge Yunshan, Han Xiukun, et al. Combustion characteristics of direct injection diesel engine fueled with biodiesel [J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 2007, 28(6): 7 ~ 10. (in Chinese)
- 6 Zoeldy M. Ethanol-biodiesel-diesel blends as a diesel extender option on compression ignition engines [J]. Transport, 2011, 26(3): 303 ~ 309.
- 7 Canakci M. Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel [J]. Bioresource Technology, 2007, 98(6): 1 167 ~ 1 175.
- 8 Szybist J P, Boehman A L, Taylor J D, et al. Evaluation of formulation strategies to eliminate the biodiesel NO_x effect [J]. Fuel Processing Technology, 2005, 86(10): 1 109 ~ 1 126.
- 9 Eloisa T J, Marta S J, Gregorc A, et al. Physical and chemical properties of ethanol-biodiesel blends for diesel engines[J]. Energy & Fuels, 2010, 24(3): 2 002 ~ 2 009.
- 10 张学敏,裘博,谭建伟,等. 柴油机燃用乙醇-生物柴油-柴油的醛酮类排放物研究[J]. 农业机械学报,2012,43(7): 13 ~ 18.
- Zhang Xuemin, Qiu Bo, Tan Jianwei, et al. Carbonyl compounds emission from engine fueled with ethanol - biodiesel - diesel[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(7):13 ~ 18. (in Chinese)