

# 柴油机燃烧生物油/柴油乳化燃料的负荷特性\*

李永军<sup>1</sup> 于济业<sup>2</sup> 柏雪源<sup>1</sup> 蔡红珍<sup>1</sup>

(1. 山东理工大学农业工程与食品科学学院, 淄博 255049; 2. 山东理工大学交通与车辆工程学院, 淄博 255049)

**【摘要】** 将玉米秸秆粉热解液化得到的生物油和0号柴油以及适量的乳化剂混合均质,得到不同配比的2种生物油/柴油乳化燃料。在ZS1110型柴油机台架上进行2种生物油/柴油乳化燃料和纯柴油的发动机台架实验,获得乳化燃料和纯柴油的柴油机负荷特性曲线。研究表明:2种乳化油的有效热效率均高于纯柴油,且生物油浓度为15%的生物油/柴油乳化燃料较纯柴油有明显的节油效果。但乳化燃料使柴油机喷油嘴发生积碳现象。

**关键词:** 柴油机 生物油 乳化燃料 负荷特性

**中图分类号:** TK6; TK427+.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)S0-0145-04

## Bio-oil/Diesel Emulsion Fuel Load Characteristics of Diesel Engine

Li Yongjun<sup>1</sup> Yu Jiye<sup>2</sup> Bai Xueyuan<sup>1</sup> Cai Hongzhen<sup>1</sup>

(1. School of Agricultural and Food Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China

2. School of Transportation and Vehicle Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

### Abstract

Emulsified fuel was produced by mixing bio-oil pyrolyzed corn stalk with commercial No.0 diesel oil as well as surfactants using a homogenizer. The performances of bio-oil/diesel oil emulsified fuels with two different bio-oil/diesel oil ratios were tested on a ZS1110 diesel engine. The load characteristic curves of the diesel engine were determined. The experimental results showed that the effective thermal efficiency of two kinds of emulsified fuel was higher than that of the pure No.0 diesel oil. For emulsified fuel at bio-oil concentration of 15%, the specific fuel consumption was lower than that of No.0 diesel oil. However, there was often carbon deposition surrounding the diesel injector nozzle when using emulsified fuel.

**Key words** Diesel engine, Bio-oil, Emulsified fuel, Load characteristics

### 引言

生物质能是地球上最普遍的一种可再生能源,目前,对它的开发和利用已经受到越来越多的重视和关注。将生物质闪速热解液化获得的生物油与柴油混合均质,得到生物油/柴油乳化燃料。生物油/柴油进行乳化实际上就是将生物油以液珠的形式分散到另一与其不相混溶的柴油中。因此在配制乳化液的过程中,会产生巨大的相界面,使体系的界面能大幅度地增加,从而需要一定的能量来完成此配制,

这些能量须由外界提供。通过一些特殊设备提供机械能形式可以满足这一要求。

对生物油/柴油进行乳化应用于柴油机驱动,是有效利用生物油的方式之一。国外许多研究进行了生物油和柴油乳化燃料的制备,并且将制得的乳化液在柴油机上进行了实验,得到了一些相关的实验数据<sup>[1]</sup>。国内对此项研究报道较少,山东理工大学、东北林业大学、西安交通大学等相关研究机构已开展研究,但仅处在起步阶段。本文对所制备的生物油/柴油乳化燃料及纯柴油进行柴油机台架实验。

收稿日期: 2010-07-01 修回日期: 2010-07-16

\* 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2007AA05Z451、2009AA05Z401)、国家自然科学基金资助项目(50876056)、山东理工大学科技基金资助项目(4040-305018)和淄博市科技项目(22010GG01083)

作者简介: 李永军,高级工程师,主要从事生物质能利用研究,E-mail: liyongjun@sdu.edu.cn

## 1 柴油机台架实验系统和工况

柴油机台架实验包括将柴油与乳化剂均质混合后,再加入生物油,进一步在均质机内将混合溶液乳化处理,得到生物油/柴油乳化燃料。最后将乳化燃料在发动机台架上进行动力实验,其工艺流程如图1所示。

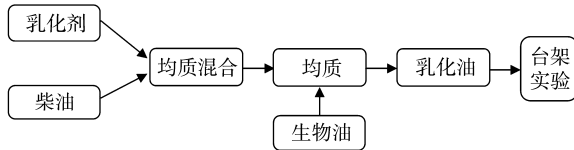


图1 柴油机台架实验工艺流程

Fig. 1 Diesel engine bench test flow chart

### 1.1 生物油的制备

实验所用的生物油通过玉米秸秆粉的热裂解液化装置制备。设备为山东省清洁能源中心自行研制的生物质流化床热解液化装置。实验原料选用20目

以下(粒径小于 $850\ \mu\text{m}$ )的玉米秸秆粉,以石英砂为流化介质。通过流化床上进行玉米秸秆粉的热裂解液化,得到所需的生物油。

生物油主要成分是酸、醇、醛、酮和酚类等有机物<sup>[2]</sup>。与原生物质比较,生物油具有较高的体积能量密度,容易储存、运输和处理。与矿物油相比,生物油中氧、水和固体杂质含量较多,热值低,酸性较强,有腐蚀性。

### 1.2 生物油/柴油乳化燃料的制备

#### 1.2.1 乳化设备

本实验所用的主要设备是上海弗鲁克流体机械制造有限公司生产的FM300实验室分散乳化机和上海申光仪器仪表有限公司生产的恒温水浴锅。

#### 1.2.2 乳化原料

实验原料为0号柴油、玉米秸秆热裂解制取的生物油以及亲油性的乳化剂Span-80和亲水性的乳化剂Tween-20。表1是生物油和柴油的有关性质。

表1 0号柴油和生物油的性质

Tab. 1 Nature of diesel oil and bio-oil

种类	密度/ $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	含水率/%	灰分含量/%	C含量/%	H含量/%	O含量/%
柴油	0.8379	0	0.00125	87	13.2	0.021
生物油	1.1~1.2	25	0.1	56.4	6.2	37.1

配制生物油质量分数为10%和15%,混合乳化剂质量分数为4%(含Span-80和Tween-20的体积比为7:1)的乳化油200 mL,其配比见表2。为

防止乳化过程产生的热量影响乳化效果,乳化过程在恒温水浴锅中进行。

表2 乳化燃料实验配比

Tab. 2 Experimental ratio of emulsified fuel

乳化燃料	生物油/mL	柴油/mL	乳化剂/mL	生物油质量分数/%	乳化剂质量分数/%
A	20	172	8	10	4
B	30	162	8	15	4

### 1.2.3 生物油/柴油乳化燃料的性质

乳化前,生物油和柴油是不相混溶的,由图2a可以清晰看见柴油漂浮在生物油上面。经过乳化,

得到了均匀的乳状液液体,如图2b所示。

表3为两种配比乳化燃料的物理性质。

表3 生物油/柴油乳化燃料的物理性质

Tab. 3 Properties of bio-oil/diesel oil emulsified fuel

乳化燃料	热值/ $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	粘度/ $\text{MPa}\cdot\text{s}$	pH值
A	41	5.5	4.5
B	39	6.0	4.0

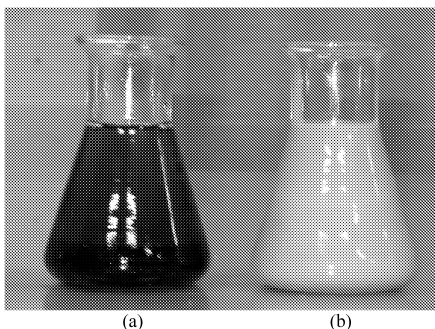


图2 生物油乳化前后外观

Fig. 2 Before and after appearances of bio-oil emulsion

### 1.3 柴油机台架实验

实验中用GW-63型电涡流测功机测功率,用天平法测燃油消耗率。实验系统如图3所示。

#### 1.3.1 台架实验装置

发动机:ZS1110型柴油机,其基本参数如表4所示;测功机:GW-63型,额定扭矩:250 N·m;额定

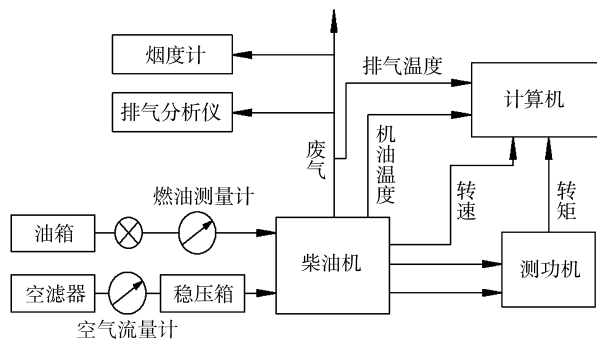


图3 柴油机台架实验装置示意图

Fig.3 Schematic diagram of bench test equipment

转速: 7 500 r/min。

表4 柴油机的基本参数

Tab.4 Basic parameters of diesel engine

参数	数值	参数	数值
行程/mm	115	压缩比	17
缸径/mm	110	额定功率/kW	13.2
排量/L	1.093	额定转速/r·min <sup>-1</sup>	2 200

### 1.3.2 实验材料

① 生物油质量分数为 10% 的乳化油 A 和生物油质量分数为 15% 的乳化油 B。② 市售 0 号柴油。

## 2 实验结果

### 2.1 乳化燃料的经济性评价参数

本文评价乳化燃料应用于柴油机的经济性, 采用了如下两种评价参数:

节油率  $z_f$ <sup>[3]</sup>

$$z_f = \frac{b_e - b_{e'}}{b_e} \times 100\% \quad (1)$$

式中  $b_e$ ——燃用柴油的燃油消耗率, g/(kW·h)

$b_{e'}$ ——乳化油的折算油耗率, g/(kW·h)

有效热效率  $\eta_e$ <sup>[4]</sup>

$$\eta_e = \frac{3.6 \times 10^5}{b_e H_u} \times 100\% \quad (2)$$

式中  $H_u$ ——燃料低位热值, MJ/kg

根据 NY/T12—85, 用氧弹热值仪测得的发热量为高位发热量<sup>[4-5]</sup>, 而燃料的低位发热量为<sup>[3]</sup>

$$Q_L = Q_H - 25.1(9H + W) \quad (3)$$

式中  $Q_L$ ——低位发热量

$Q_H$ ——高位发热量

$H$ ——试样中的氢含量, %

$W$ ——试样中的含水率, %

式(3)中 25.1 为在氧弹中水蒸气每 1% 凝结时放出的潜热, kJ/kg; 9 为氢含量换算为含水率的系数。

### 2.2 负荷特性

柴油机的负荷特性<sup>[5]</sup>是指柴油机在保持转速不变的情况下, 改变柴油机负荷时, 其主要性能参数: 转矩、功率、油耗量、油耗率、排气温度随负荷变化的规律。

选用了两种生物油浓度的乳化油进行了负荷特性试验, 并与纯柴油进行了对比。图 4 和图 5 分别为柴油机在  $n = 1\,800$  r/min 的转速下乳化油 A 和乳化油 B 与纯柴油的当量油耗率和排气温度的对比。

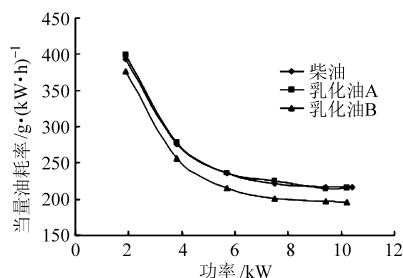


图4 1 800 r/min 转速下的当量油耗率曲线

Fig.4 Fuel consumption at engine speed of 1 800 r/min

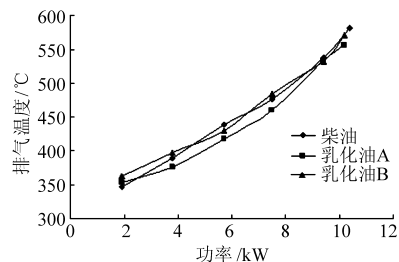


图5 1 800 r/min 转速下的排气温度特性曲线

Fig.5 Exhaust temperature at engine speed of 1 800 r/min

通过实验测得生物油的热值为柴油的 21%, 乳化剂的热值为柴油的 78%<sup>[6-9]</sup>。如果柴油机燃用生物油/柴油乳化燃料的热效率与燃用纯柴油时相同, 那么它们的油耗率就会比燃用纯柴油高很多, 失去了直观可比性。因此, 需要将乳化油的实际油耗率折算为纯柴油的油耗率, 为

$$b_{e'} = b_e [1 - (1 - 0.21)\varepsilon_B - (1 - 0.78)\varepsilon_E] \quad (4)$$

式中  $\varepsilon_B$ ——乳化油中生物油的质量分数

$\varepsilon_E$ ——乳化油中乳化剂的质量分数

从图 4 中可以看出乳化油 A 的油耗率(以下油耗率在不作说明的情况下均指折算后的油耗率)和柴油的非常接近, 乳化油 B 的油耗率比柴油的油耗率低。从排温情况来看, 虽然两种乳化油的排温和柴油的很接近, 但总体来说, 乳化油 A 和 B 的排温都较柴油的低。从图 4 中还可以看出, 乳化油 B 具有明显的节油效果, 节油率如图 6 所示。在高负荷时乳化油 B 的节油率达到 10%。乳化油 A、乳化油 B 和柴油的有效热效率的对比情况如图 7 所示。从图中可以看出, 乳化油的热效率比柴油的明显偏高,

并且乳化油 B 的有效热效率高于乳化油 A 的有效热效率。

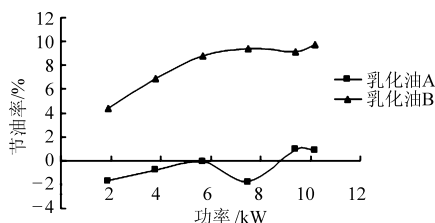


图 6 乳化油 A 和 B 的节油率曲线

Fig. 6 Fuel saving rates of emulsions A and B

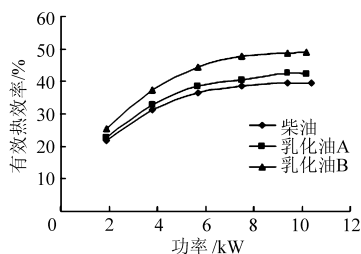


图 7 纯柴油与乳化油的有效热效率曲线

Fig. 7 Effective thermal efficiencies of pure diesel fuel and emulsions

### 2.3 柴油机燃用乳化油后对其部件的影响

尽管柴油机燃用乳化油时运转良好,但是经过

一段时间连续运转后发现,柴油机的喷油嘴受到阻塞。原因是由于乳化油中的成分极其复杂,在空气中易发生化学反应,而且乳化油本身的粘度较大。燃料的粘度在很大程度上可以决定柴油机气缸内形成燃料流的性质和它的喷射深度。进机粘度太大的燃油会形成大油滴的燃料流,并且喷射深度也大,一般会引起燃料喷雾的恶化,燃料不能充分燃烧,在喷油嘴上发生积碳现象。

### 3 结论

对所制备的生物油/柴油乳化燃料及纯柴油进行了柴油机台架实验,测试了燃烧时的柴油机负荷特性。结果表明:

(1) 两种乳化油的有效热效率均高于纯柴油。在经济性上乳化油 B 较柴油有明显的节油效果,最大节油率可达 10%。

(2) 柴油机燃烧乳化油时,经过一段时间连续运转后,喷油嘴结碳,容易产生阻塞。因此,为了使乳化油可以在柴油机上大规模应用,应研制适合乳化油燃烧的特殊结构的喷油嘴。

### 参 考 文 献

- Chiamonti D, Bonini M, Fratini E, et al. Development of emulsions from biomass pyrolysis liquid and diesel and their use in engines—part 1: emulsion production[J]. Biomass and Bioenergy, 2003, 25(1): 85~99.
- 王丽红,柏雪源,易维明,等. 玉米秸秆热解生物油特性的研究[J]. 农业工程学报,2006,22(3): 108~111.  
Wang Lihong, Bai Xueyuan, Yi Weiming, et al. Characteristics of bio-oil from plasma heated fluidized bed pyrolysis of corn stalk[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(3): 108~111. (in Chinese)
- 吴江霞. 乳化柴油的制备及其在单缸柴油机上节能效果与排放特性的研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2003.  
Wu Jiangxia. An investigation on the production of emulsified fuel and its effect on fuel economy and emissions of single cylinder diesel[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2003. (in Chinese)
- 吴娟. 生物油/柴油乳化燃料的实验研究[D]. 淄博: 山东理工大学, 2008.  
Wu Juan. Experimental study of bio-oil/diesel oil emulsified fuel[D]. Zibo: Shandong University of Technology, 2008. (in Chinese)
- 刘永长. 内燃机原理[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2001.
- 朱锡锋,郑冀鲁,陆强,等. 生物质热解液化装置研制与实验研究[J]. 中国工程科学,2006, 8(10): 89~93.  
Zhu Xifeng, Zheng Jilu, Lu Qiang, et al. Development of biomass pyrolysis set and its experimental research [J]. Engineering Science, 2006,8(10): 89~93. (in Chinese)
- 于济业,彭艳丽,李燕飞,等. 生物油/柴油乳化燃油稳定性试验[J]. 山东理工大学学报, 2007, 21(5):101~103.  
Yu Jiye, Peng Yanli, Li Yanfei, et al. Stability of emulsion from bio-oil and diesel[J]. Journal of Shandong University of Technology, 2007, 21(5): 101~103. (in Chinese)
- Michio Ikura, Maria Stanculescu, Ed Hogan. Emulsification of pyrolysis derived bio-oil in diesel oil[J]. Biomass and Bioenergy, 2003,24(3): 221~232.
- 许锋,吴卫兵,张大林,等. 乳化油在 1135 柴油机上的性能试验[J]. 柴油机,2002(6): 30~33.  
Xu Feng, Wu Weibing, Zhang Dalin, et al. Investigation in emulsified fuel performance on 1135 diesel engine[J]. Diesel Engine, 2002(6): 30~33. (in Chinese)

- 3 Kondo N. Fruit harvesting robot in Japan[J]. *Advanced Space Research*, 1996,18(1~2):181~184.
  - 4 Pons J L, Ceres R, Jimenez A. Mechanical design of a fruit picking manipulator: improvement of dynamic behavior[C]//*IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, 1996,1:969~974.
  - 5 Yoshikawa T. Manipulability of robotic mechanisms [J]. *The International Journal of Robotics Research*, 1985,4(2):3~9.
  - 6 孙杏初. 关节型机器人主连杆(手臂)参数的优化设计[J]. *北京航空航天大学学报*, 1996,22(4):509~512.  
Sun Xingchu. Optimal design of the major linkage parameters of articulated robot [J]. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 1996,22(4):509~512. (in Chinese)
  - 7 李吉. 苹果采摘机械臂设计研究[D]. 北京:中国农业大学,2007.
  - 8 梁喜凤,王永维,苗香雯. 番茄收获机械手机构尺寸优化设计[J]. *机械设计与研究*, 2008,24(1):21~24.  
Liang Xifeng, Wang Yongwei, Miao Xiangwen. Optimal design of mechanism dimension for a tomato harvesting manipulator[J]. *Machine Design & Research*, 2008,24(1):21~24. (in Chinese)
  - 9 John J Craig. 机器人学导论[M]. 贡超,等译. 北京:机械工业出版社,2006.
  - 10 倪受东,文巨峰,颜景平. 四自由度冗余机器人雅可比矩阵的建立[J]. *仪器仪表学报*, 2001,22(4):381~383.  
Ni Shoudong, Wen Jufeng, Yan Jingping. The establishment of the Jacobian for the 4-DOF reductant robot[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2001,22(4):381~383. (in Chinese)
- 

(上接第148页)

- 10 柏雪源,吴娟,王丽红,等. 生物质热解生物油/柴油乳化燃料的制备与试验[J]. *农业机械学报*, 2009,40(9):112~115.  
Bai Xueyuan, Wu Juan, Wang Lihong, et al. Preparation of emulsified fuel from biomass pyrolysis derived bio-oil and diesel and their use in engine [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2009,40(9):112~115. (in Chinese)
- 11 矫常命. 农作物秸秆阴燃特性及应用研究[D]. 淄博:山东理工大学,2006.  
Jiao Changming. Study on the smoldering characteristics and application of the agro-stalks[D]. Zibo: Shandong University of Technology, 2006. (in Chinese)
- 12 张琦,常杰,王铁军,等. 生物质裂解油的性质及精制研究进展[J]. *石油化工*, 2006,35(5):493~498.  
Zhang Qi, Chang Jie, Wang Tiejun, et al. Progress on research of properties and upgrading of bio-oil[J]. *Petrochemical Technology*, 2006,35(5):493~498. (in Chinese)